Brian Greene

DO KOŃCA CZASU

UMYSŁ, MATERIA I NASZE POSZUKIWANIE SENSU W ZMIENIAJĄCYM SIĘ WSZECHŚWIECIE

NA ŚCIEŻKACH NAUKI

Prószyński i S-ka

Plik jest zabezpieczony znakiem wodnym

Brian Greene

DO KOŃCA CZASU

UMYSŁ, MATERIA I NASZE POSZUKIWANIE SENSU W ZMIENIAJĄCYM SIĘ WSZECHŚWIECIE

Przełożył
Tomasz Krzysztoń

Prószyński i S-ka

Tytuł oryginału
UNTIL THE END OF TIME
Mind, Matter, and Our Search for Meaning
in an Evolving Universe

Copyright © 2020 by Brian Greene
All rights reserved

Projekt okładki
Magdalena Palej

Zdjęcia na okładce
© Warren Wong/unsplash.com;
Toa Heftiba/unsplash.com;
Patrick McManaman/unsplash.com

Redaktor serii
Adrian Markowski

Redakcja
Anna Kaniewska

Korekta
Małgorzata Denys

ISBN 978-83-8234-598-8

Warszawa 2021

Wydawca
Prószyński Media Sp. z o.o.

02-697 Warszawa, ul. Rzymowskiego 28
www.proszynski.pl

Dla Tracy

Przedmowa

„Zajmuję się matematyką dlatego, że jak już udowodnisz twierdzenie, to jest ono prawdziwe. Na zawsze”[1]. To oświadczenie, tak proste i bezpośrednie, było zaskakujące. Będąc studentem drugiego roku studiów, wspomniałem starszemu przyjacielowi, który przez lata uczył mnie wielu dziedzin matematyki, że uczęszczam na wykłady psychologii i piszę pracę na temat motywacji człowieka. Jego odpowiedź miała na mnie duży wpływ. Do tej pory nawet nie myślałem o matematyce w podobnych kategoriach. Matematyka była dla mnie cudowną grą abstrakcyjnej precyzji graną przez osobliwą społeczność, która zachwycała się puentami zależącymi od pierwiastków kwadratowych lub dzielenia przez zero. Tymczasem dzięki jego uwadze tryby się nagle zazębiły. „Tak – pomyślałem. – To właśnie romantyka matematyki”. Kreatywność ograniczona logiką i zestawem aksjomatów dyktuje, jak można manipulować ideami i łączyć je w celu ujawnienia niewzruszonych prawd. Każdy trójkąt prostokątny narysowany przed Pitagorasem i po nim aż do wieczności będzie spełniać słynne twierdzenie nazwane jego imieniem. Nie ma żadnych wyjątków. Oczywiście, możesz zmienić założenia, odkryć nowe dziedziny, takie jak trójkąty na zakrzywionej powierzchni czy piłka do koszykówki, i obalić twierdzenie Pitagorasa. Mimo to sprawdź jeszcze raz założenia i dowód, a twoje twierdzenie będzie gotowe do wyrycia w kamieniu. Nie trzeba wspinać się na żaden szczyt, nie trzeba żadnej wędrówki po pustyni, żadnego triumfu nad półświatkiem. Możesz wygodnie usiąść przy biurku

i używając papieru, ołówka oraz przenikliwego umysłu, tworzyć coś ponadczasowego.

Ta perspektywa otworzyła mój świat. Tak naprawdę nigdy nie zadawałem sobie pytania, *dlaczego* tak bardzo pociąga mnie matematyka i fizyka. Rozwiązywanie problemów, poznawanie budowy Wszechświata – to było to, co zawsze mnie urzekało. A teraz przekonałem się, że te dyscypliny mnie fascynują, ponieważ unoszą się nad nietrwałością dnia codziennego. Chociaż moje zaangażowanie wynikało z wyolbrzymionej młodzieńczej wrażliwości, nagle nabrałem pewności, że chcę podążać w kierunku spostrzeżeń tak fundamentalnych, że nigdy nie ulegną zmianie. Niech rządy powstają i upadają, niech World Series będą wygrywane i przegrywane, niech legendy filmu i telewizji przychodzą i odchodzą. A ja chciałem spędzić życie, próbując uchwycić coś transcendentnego.

Tymczasem miałem jeszcze do napisania tę pracę z psychologii. Zadanie polegało na opracowaniu teorii, dlaczego my, ludzie, robimy to, co robimy, ale za każdym razem gdy zaczynałem pisać, projekt wydawał mi się zdecydowanie mglisty. Jeśli rozsądnie brzmiące idee ubrałeś we właściwe słowa, to wydawało się, że na poczekaniu możesz to przygotować. Wspomniałem o tym podczas kolacji w akademiku, a jeden z doradców zaproponował, żebym przyjrzał się *Zmierzchowi Zachodu* Oswalda Spenglera. Spengler, niemiecki historyk i filozof, interesował się matematyką i naukami ścisłymi i bez wątpienia właśnie dlatego polecono mi jego książkę.

Aspekty odpowiedzialne zarówno za sławę książki, jak i jej deprecjonowanie – przepowiednie o politycznej implozji, zawoalowane poparcie faszyzmu – są głęboko niepokojące i wykorzystywane do wspierania podstępnych ideologii, ale ja zbytnio dążyłem do celu, aby na to zwrócić uwagę. Zamiast tego zaintrygowała mnie wizja Spenglera, mówiąca o uniwersalnym zestawie zasad, które ujawniają ukryte wzorce realizowane w zasadniczo odmiennych kulturach, równorzędne wzorcom formułowanym w analizie matematycznej i geometrii euklidesowej – to one wszak dokonały zmiany w rozumieniu fizyki i matematyki[2]. Spengler mówił moim językiem. Inspirujący był tekst o historii,

w którym czcił matematykę i fizykę za to, że stanowią model dla postępu. Jednak potem pojawiła się uwaga, która nieoczekiwanie całkowicie mną zawładnęła: „Człowiek jest jedyną istotą, która wie, czym jest śmierć; wszystkie inne istoty starzeją się, ale ze świadomością całkowicie ograniczoną do chwili, która musi im wydawać się wiecznością", ta wiedza wzbudza „w gruncie rzeczy ludzki strach przed śmiercią". Spengler doszedł do wniosku, że „każda religia, każde badanie naukowe, każda filozofia z tego się wywodzi"[3].

Pamiętam, jak rozmyślałem nad ostatnim zdaniem. Tu była perspektywa ludzkiej motywacji, która miała dla mnie sens. Urokiem matematycznego dowodu może być to, że jest zawsze prawdziwy. Atrakcyjność prawa natury może być jego ponadczasową jakością. Co jednak skłania nas do poszukiwania tego, co ponadczasowe, do poszukiwania cech, które mogą trwać wiecznie? Być może wszystko to wynika z naszej wyjątkowej świadomości, że nie jesteśmy ponadczasowi, że nasze życie nie jest wieczne. Współgrając z moim nowo odkrytym podejściem do matematyki, fizyki i urokiem wieczności, trafiało w cel. Było to podejście do ludzkiej motywacji oparte na reakcji na dominującą świadomość tego faktu. Nie wymyślało ono nic *ad hoc*.

Kiedy myślałem o tym wniosku, wydawało mi się, że obiecuje on jeszcze coś większego. Nauka, jak zauważał Spengler, jest jedną z odpowiedzi na świadomość naszego nieuchronnego końca. Tak samo religia. I filozofia. Jednak dlaczego mielibyśmy na tym poprzestawać? Na pewno nie powinniśmy tak uczynić według Otto Ranka, jednego z pierwszych uczniów Freuda, który był zafascynowany procesem twórczym człowieka. Artysta, w ocenie Ranka, jest kimś, komu „twórczy impuls (...) próbuje zamienić ulotne życie we własną nieśmiertelność"[4]. Jean-Paul Sartre poszedł dalej, zauważając, że życie staje się pozbawione znaczenia, „kiedy straciłeś iluzję bycia wiecznym"[5]. Sugestia przewijająca się w dziełach tych i innych myślicieli jest taka, że aż tak wielką część kultury – od poszukiwań artystycznych do odkryć naukowych – napędza refleksja na temat skończonej natury życia.

Głębokie wody. Kto wiedział, że troskę o wszystko matematyka i fizyka spożytkuje w wizjach ujednoliconej teorii ludzkiej cywilizacji napędzanej bogatą dwoistością życia i śmierci?

Cóż, w porządku. Zaczerpnę powietrza i przypomnę swemu dawnemu sobie, żeby nie dał się zbytnio ponieść emocjom. Niemniej jednak podekscytowanie, jakie odczuwałem, okazało się czymś więcej niż przemijającym, naiwnym intelektualnym zachwytem. W ciągu prawie czterech dekad, które upłynęły od tamtego czasu, te tematy, często odkładane na później, pozostały ze mną. Podczas gdy moja codzienna praca polegała na poszukiwaniu ujednoliconych teorii i początków kosmosu, w rozmyślaniu o znaczeniu postępu naukowego wielokrotnie powracałem do kwestii czasu i jego ograniczonego przydziału, jaki każdy z nas otrzymał. Teraz, dzięki treningowi i temperamentowi, jestem sceptycznie nastawiony do uniwersalnych wyjaśnień – fizyka jest zaśmiecona nieudanymi, ujednoliconymi teoriami dotyczącymi sił natury – tym bardziej jeśli podejmujemy próbę zbadania złożonej sfery ludzkich zachowań. Istotnie, doszedłem do wniosku, że moja świadomość własnego nieuchronnego końca mająca wielki wpływ na wszystko, co robię, nie daje ogólnego wyjaśnienia. To ocena, jak wyobrażam sobie, która w różnym stopniu jest powszechna. Wciąż jednak istnieje jedna dziedzina, w której macki śmiertelności są szczególnie widoczne.

W różnych kulturach na przestrzeni wieków przywiązywano dużą wagę do trwałości. Istnieją liczne sposoby, jakimi można tego dokonać. Jedni szukają prawdy absolutnej, inni starają się o trwałe dziedzictwo, inni budują wspaniałe pomniki, jeszcze inni dążą do trwałych praw, a niektórzy z zapałem zwracają się ku takiej czy innej wersji wieczności. Wieczność, jak wykazuje ta działalność, ma potężną siłę oddziaływania na umysł, świadomy, że jego materialne trwanie jest ograniczone.

W naszej epoce naukowcy wyposażeni w narzędzia do przeprowadzania eksperymentów za pomocą obserwacji i analizy matematycznej przetarli nowy szlak ku przyszłości, taki, który po raz pierwszy ujawnił istotne cechy ostatecznego, mimo że wciąż odległego krajobrazu. Choć przesłonięta mgiełką tu i mgłą tam, panorama staje się na tyle wyraźna, że my, istoty rozumne, możemy

pełniej niż kiedykolwiek wcześniej zrozumieć, jak wpasowujemy się w wielką przestrzeń czasu.

Na kolejnych stronach w tym właśnie duchu będziemy badać zasady fizyczne tworzące uporządkowane struktury od gwiazd i galaktyk aż do życia i świadomości, posuwając się po linii czasu Wszechświata przeznaczonego do rozpadu. Rozważymy argumenty dowodzące, że podobnie jak ograniczona jest długość życia istot ludzkich we Wszechświecie, to samo dotyczy samego zjawiska życia i inteligencji. Faktycznie, w pewnym momencie zorganizowana materia jakiegokolwiek rodzaju prawdopodobnie zniknie. Zbadamy, jak autorefleksyjne istoty zmagają się z napięciem związanym z tą świadomością. Wyłaniamy się z praw, które – z tego, co wiemy – są ponadczasowe, a mimo to istniejemy w najkrótszej chwili. Kierują nami prawa działające bez celu, a jednak ciągle zadajemy sobie pytanie, dokąd zmierzamy. Jesteśmy kształtowani przez prawa, które, jak się wydaje, nie potrzebują racjonalnych przesłanek, a mimo to uparcie poszukujemy sensu i celu.

Krótko mówiąc, dokonamy przeglądu Wszechświata od początku czasu do czegoś, co przypomina koniec, a w trakcie podróży będziemy badać zapierające dech w piersiach sposoby, jakimi niezwykłe umysły objaśniały przemijalność wszystkiego.

Będziemy kierować się w tych poszukiwaniach spostrzeżeniami z różnych dyscyplin naukowych. Przez analogie i metafory wyjaśniam wszystkie niezbędne idee w sposób prosty, zakładając jedynie najbardziej skromne wykształcenie czytelnika. W przypadku szczególnie trudnych koncepcji przedstawiam krótkie podsumowania, które pozwalają na kontynuację bez utraty wątku. W uwagach końcowych wyjaśniam drobniejsze punkty, opisuję pewne szczegóły matematyczne oraz podaję odnośniki i sugestie dalszej lektury.

Ponieważ temat jest obszerny, a liczba stron ograniczona, zdecydowałem się iść wąską ścieżką, zatrzymując się w różnych momentach, które uważam za niezbędne do poznania naszego miejsca w kosmologicznej historii. Tę podróż inspiruje nauka, znaczenie nadaje jej ludzkość i jest ona przy tym intelektualną przygodą.

1 Cytat pochodzi od mojego wczesnego mentora, absolwenta wydziału matematyki Uniwersytetu Columbia w latach siedemdziesiątych, Neila Bellinsona. Hojnie poświęcił on swój czas i wyjątkowy talent uczeniu matematyki młodego studenta – mnie – który nie miał nic do zaoferowania poza pasją do nauki. Rozmawialiśmy o pracy na temat ludzkiej motywacji, którą napisałem na kursie psychologii na Harvardzie, prowadzonym przez Davida Bussa, obecnie na Uniwersytecie Teksasu w Austin.

2 Oswald Spengler, *Zmierzch Zachodu*.

3 Ibidem.

4 Otto Rank, *Art and Artist: Creative Urge and Personality Development*, przeł. Charles Francis Atkinson, Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1932, s. 39.

5 Sartre wyraża ten punkt widzenia w swoim wspaniałym opowiadaniu *Mur*.

Rozdział 1
Powab wieczności

Początki, końce i to, co poza nimi

Wszystko, co żyje, w końcu umrze. Przez ponad trzy miliardy lat, gdy gatunki proste i złożone znalazły swoje miejsce w ziemskiej hierarchii, kosa śmierci rzuciła trwały cień na rozkwit życia. Różnorodność rozprzestrzeniała się, w miarę jak życie wyczołgiwało się z oceanów, kroczyło po lądzie i ulatywało w przestworza. Wystarczy jednak poczekać, a księga narodzin i śmierci, zawierająca więcej pozycji niż liczba gwiazd w galaktyce, zostanie zbilansowana z beznamiętną precyzją. Rozwoju każdego życia nie da się przewidzieć, lecz jego ostateczny los jest z góry przesądzony.

A jednak ten nadchodzący koniec, tak nieuchronny jak zachód słońca, jest czymś, co chyba tylko my, ludzie, zauważamy. Na długo przed naszym pojawieniem się ogłuszający grzmot chmur burzowych, szalejąca potęga wulkanów, zatrważające trzęsienia ziemi z pewnością powodowały, że pomykało wszystko, co miało siłę uciekać. Taka ucieczka to instynktowna reakcja na istnienie niebezpieczeństwa. Większość istot żywych żyje chwilą, a strach rodzi się w chwili spostrzeżenia. Tylko ty i ja oraz reszta naszego gatunku możemy zastanawiać się nad daleką przeszłością, wyobrażać sobie przyszłość i pojąć ciemność, która nas oczekuje.

To przerażające. Nie jest to ten rodzaj przerażenia, który sprawia, że drżymy lub uciekamy w poszukiwaniu ukrycia, ale raczej obawa, która spokojnie żyje w nas, coś, co uczymy się tłumić w sobie,

akceptować, umniejszać jego znaczenie. Mimo to pod przesłaniającymi ją warstwami kryje się wciąż obecna, niepokojąca świadomość tego, co nas czeka, wiedza, którą William James opisał jako „robaka toczącego wszystkie nasze zwykłe źródła radości”[6]. Praca i zabawa, pragnienia i dążenia, tęsknota i miłość, wszystko to przykuwa nas coraz mocniej do uroków życia, a potem wszystko – przepadnie. To, parafrazując słowa Stevena Wrighta, wystarczy, aby w połowie przestraszyć nas na śmierć. I to podwójnie.

Większość z nas, aby pozostać przy zdrowych zmysłach, nie myśli o końcu. Zajmujemy się ziemskimi sprawami i troskami. Akceptujemy to, co nieuniknione, i kierujemy naszą energię ku innym rzeczom. Jednak świadomość, że nasz czas jest skończony, pozostaje zawsze z nami, pomagając nam dokonywać wyborów, podejmować wyzwania i szukać życiowych dróg. Antropolog kultury Ernest Becker twierdził, że jesteśmy w ciągłym napięciu egzystencjalnym, ciągnięci ku niebu świadomością, która może sięgać wyżyn Szekspira, Beethovena i Einsteina, ale jest uwiązana do ziemi swą fizyczną formą, ta zaś rozpadnie się w pył. „Człowiek jest dosłownie podzielony na dwie części: ma świadomość swojej wspaniałej wyjątkowości, ponieważ majestatycznie wybija się z natury, a mimo to wraca kilka stóp pod ziemię, aby ślepo i w niemym osłupieniu gnić i zniknąć na zawsze”[7]. Według Beckera taka świadomość zmusza nas do zaprzeczenia śmierci, do zdolności wymazania nas. Niektórzy uśmierzają egzystencjalną tęsknotę przez zaangażowanie w rodzinę, w zespół, ruch, religię, w naród – takie konstrukty, które przekraczają ziemski czas przydzielony jednostce. Inni pozostawiają po sobie twórczą ekspresję, artefakty, które symbolicznie przedłużają czas ich obecności. „Lecimy do Piękna – mówi Emerson – które jest azylem od strachu przed skończonością natury”[8]. Inni wciąż starają się pokonać śmierć walką o zwycięstwo lub zdobywaniem stanowisk, jakby pozycja, władza i bogactwo dawały immunitet niedostępny śmiertelnikom.

W ciągu tysiącleci jedną z konsekwencji owego lęku była powszechna fascynacja wszystkim tym, co dotyka ponadczasowego, a jest prawdziwe lub wyobrażone. Od proroctw o życiu pozagrobowym przez nauki o reinkarnacji aż po błagania o smaganą

wiatrem mandalę opracowaliśmy strategie borykania się z wiedzą o naszej nietrwałości, a często z nadzieją, czasem rezygnacją, dania znaku w stronę wieczności. To, co nowe w naszych czasach, to niezwykła siła nauki pozwalająca na klarowną opowieść nie tylko o przeszłości, aż od czasów Wielkiego Wybuchu, lecz także o przyszłości. Sama wieczność może na zawsze pozostać poza zasięgiem naszych równań, ale analizy już wykazały, że Wszechświat, który poznaliśmy, jest przemijający. Od planet do gwiazd, od układów słonecznych do galaktyk, od czarnych dziur do wirujących mgławic, nic nie jest wieczne. Rzeczywiście, o ile już wiemy, nie tylko życie pojedynczej istoty trwa jedynie przez skończony czas, lecz także dotyczy to tego, co wyraża pojęcie życia. Planeta Ziemia, którą Carl Sagan opisał jako „drobinkę pyłu zawieszoną na promieniach słonecznych", jest przemijającym kwiatem w pięknym kosmosie, który stanie się na koniec jałowy. Drobinki kurzu, te bliskie i dalekie, tańczą na promieniach słońca tylko przez chwilę.

Mimo to tutaj na Ziemi zaznaczyliśmy naszą chwilę zadziwiającą kreatywnością, pomysłowością i wnikliwością, dziełami każdego z pokoleń tworzonymi na gruncie osiągnięć tych, którzy odeszli wcześniej. Chcemy mieć jasność, jak to wszystko powstało, chcemy wiedzieć, dokąd to wszystko zmierza i dlaczego ma to znaczenie.

Taka jest historia tej książki.

Opowieści niemal o wszystkim

Jesteśmy gatunkiem, który lubuje się w opowieściach. Obserwujemy rzeczywistość, odkrywamy wzorce i łączymy je w historie, które mogą urzekać, informować, zaskakiwać, rozbawiać i przyprawiać o dreszczyk emocji. Liczba mnoga – historie – jest absolutnie niezbędna. W bibliotece ludzkiej myśli nie ma jednego, zunifikowanego tomu, który zawierałby ostateczną wiedzę. Miast tego napisaliśmy wiele opowieści dotyczących różnych dziedzin ludzkich badań i doświadczeń: opowieści, które dokonują analizy rzeczywistości za pomocą różnych gramatyk i słowników. Protony,

neutrony, elektrony i inne cząstki natury są niezbędne dla opowieści redukcjonistów, analizujących mikrofizyczne składniki rzeczywistości, od planet aż po Picassa. Metabolizm, replikacja, mutacja i adaptacja są konieczne dla opowieści o powstaniu i rozwoju życia, analizują biochemiczne działanie niezwykłych cząsteczek i komórek. Neurony, informacja, myśl i świadomość stanowią podstawę opowieści o umyśle, a wraz z nimi historie się rozszerzają: od mitu do religii, od literatury do filozofii, od sztuki do muzyki. Opowiadają o walce ludzkości o przetrwanie, o woli zrozumienia, chęci ekspresji i poszukiwaniu sensu.

Wszystkie te opowieści, rozpoczęte przez myślicieli wywodzących się z wielu różnych dyscyplin, wciąż trwają. To zrozumiałe. Saga rozpoczynająca się od kwarków i kończąca na świadomości jest kroniką obszerną. Mimo to różne historie się przeplatają. *Don Kichot* zaspokaja ludzką tęsknotę za bohaterem. To opowieść kruchego Alonso Quijano, postaci stworzonej w wyobraźni Miguela de Cervantesa. To żywy, oddychający, myślący, czujący zbiór kości, tkanek i komórek, za życia wspieranych przez organiczne procesy transformacji energii i wydalania odpadów, które polegają na ruchach atomów i cząsteczek doprowadzonych do perfekcji przez miliardy lat ewolucji na planecie utworzonej z pozostałości wybuchów supernowych rozrzuconych po całym kosmosie, wyłaniającej się z Wielkiego Wybuchu. Mimo to czytając o kłopotach Don Kichota, zdobywa się wiedzę o ludzkiej naturze, która, gdyby była wyrażona opisem ruchów cząsteczek i atomów błędnego rycerza lub procesów neuronalnych zachodzących podczas pisania powieści w umyśle Cervantesa, pozostałaby nieprzejrzysta. Różne historie, mimo że z pewnością są ze sobą połączone, opowiedziane różnymi językami i opisujące różne poziomy rzeczywistości, dają bardzo odmienne spostrzeżenia.

Być może pewnego dnia będziemy mogli płynnie przechodzić między takimi historiami, łącząc wszystkie produkty ludzkiego umysłu, prawdziwe i fikcyjne, naukowe i produkty wyobraźni. Być może pewnego dnia powołamy ujednoliconą teorię składników złożonych z cząsteczek, aby wyjaśnić wizję Rodina i niezliczone reakcje, jakie *Mieszczanie z Calais* wywołują w tych, którzy jej

doświadczają. Może w pełni zrozumiemy, jak pozornie prozaiczny odbłysk światła z wirującego talerza, przebijając się przez potężny umysł Richarda Feynmana, może zmusić go do napisania na nowo podstawowych praw fizyki. Będąc jeszcze bardziej ambitni, być może pewnego dnia zrozumiemy tak gruntownie działanie umysłu i materii, że wyjaśnimy wszystko, od czarnych dziur do Beethovena, od dziwaczności teorii kwantów do Walta Whitmana. Nawet jednak nie dysponując tymi możliwościami, wiele zyskamy dzięki zanurzaniu się w te opowieści – naukowe, twórcze, pełne wyobraźni – wyłaniające się z wcześniejszych, rozegranych na kosmicznej osi czasu, zarówno kontrowersyjne, jak i rozstrzygające, opisujące postęp, który każdą z nich podniósł do tak wysokiej rangi w dziele wyjaśniania rzeczywistości[9].

W całym zbiorze opowieści znajdziemy dwa czynniki sprawcze odgrywające rolę głównych bohaterów. W rozdziale 2 spotkamy pierwszy: *entropię*. Wielu zna ją ze względu na jej związek z nieporządkiem i często przytaczane stwierdzenie, że nieporządek zawsze wzrasta. Entropia ma wszakże subtelne cechy, które pozwalają na rozwój układów fizycznych na wiele różnych sposobów, czasami nawet na takie, które są niezgodne z kierunkiem jej zmiany. W rozdziale 3 zapoznamy się z ważnymi tego przykładami, gdy w następstwie Wielkiego Wybuchu cząstki pozornie ignorują dążenie do nieporządku i ewoluują w zorganizowane struktury, takie jak gwiazdy, galaktyki i planety – i ostatecznie w konfiguracje materii, które tworzą życie. Pytanie o to, jak ono powstało, kieruje nas ku drugiemu z czynników sprawczych: *ewolucji*.

Chociaż jest ona głównym czynnikiem stojącym za stopniowymi przemianami, których doświadczają układy żywe, ewolucyjna droga doboru naturalnego zaczyna działać na długo przed rozpoczęciem rywalizacji pierwszych form życia. W rozdziale 4 napotkamy cząsteczki walczące z cząsteczkami, to walki o przetrwanie toczące się wśród materii nieożywionej. Runda po rundzie molekularnego darwinizmu, jak nazywa się taką chemiczną walkę, jest tym, co prawdopodobnie wytworzyło serię coraz bardziej wytrzymałych konfiguracji, dając ostatecznie pierwsze struktury molekularne, które moglibyśmy uznać za życie. Szczegóły są przedmiotem najnowszych

badań, ale w ostatnich kilku dekadach ogromnych postępów panuje zgoda co do tego, że zmierzamy we właściwym kierunku. Rzeczywiście, może się okazać, że entropia i ewolucja są dobrze dopasowanymi partnerami w dążeniu do wyłonienia się życia. Podczas gdy może to brzmieć jak dziwne połączenie – entropia dążąca do chaosu, pozornej antytezy ewolucji lub życia – najnowsze analizy matematyczne entropii sugerują, że życie, lub przynajmniej właściwości je przypominające, może być *oczekiwanym* produktem długowiecznego źródła energii, takiego jak Słońce, bezustannie dostarczającego ciepło i światło do składników molekularnych, które konkurują ze sobą o ograniczone zasoby na planecie takiej jak Ziemia.

Chociaż niektóre z tych pomysłów są tylko wstępnymi propozycjami, pewne jest, że około miliarda lat po utworzeniu Ziemi tętniła ona życiem rozwijającym się pod presją ewolucji. A więc w kolejnym etapie darwinowskiego rozwoju włączają się zdarzenia losowe, takie jak ekspozycja na promieniowanie kosmiczne czy doznanie niefortunnego molekularnego wypadku podczas replikacji DNA, prowadzącego do przypadkowych mutacji, z których jedne mają minimalny wpływ na zdrowie lub dobro organizmu, inne natomiast sprawiają, że jest on mniej lub bardziej dostosowany do rywalizacji o przetrwanie. Te mutacje, które wzmacniają sprawność, z większym prawdopodobieństwem zostaną przekazane potomkom, ponieważ samo znaczenie terminu „bardziej dostosowany” jest takie, że nosiciel danej cechy z większym prawdopodobieństwem osiągnie dojrzałość reprodukcyjną i spłodzi zdrowe potomstwo. Cechy zwiększające dostosowanie są zatem przekazywane z pokolenia na pokolenie.

Miliardy lat później, w miarę rozwoju tego długiego procesu, szczególny zestaw mutacji zapewnił niektórym formom życia spotęgowaną zdolność poznawczą. Niektóre formy życia nie tylko stały się świadome, ale także stały się świadome bycia świadomymi. To znaczy, że niektóre istoty żywe uzyskały samoświadomość. Takie autorefleksyjne istoty oczywiście zastanawiały się, czym jest świadomość i jak powstawała. Jak kłąb bezmyślnej materii może myśleć i czuć? Rozmaici badacze, jak omówimy to w rozdziale 5,

oczekują mechanistycznego wyjaśnienia. Twierdzą oni, że musimy zrozumieć elementy składowe mózgu, jego funkcje, jego połączenia – z dużo większą dokładnością niż teraz, ale kiedy już będziemy mieli tę wiedzę, nastąpi wyjaśnienie świadomości. Inni oczekują, że staniemy w obliczu znacznie większego wyzwania, argumentując, że świadomość jest najtrudniejszą zagadką, jaką kiedykolwiek napotkaliśmy, wymagającą radykalnie nowego spojrzenia nie tylko na umysł, lecz także na samą naturę rzeczywistości.

Opinie są zbieżne w odniesieniu do oceny wpływu, jaki nasze wyrafinowanie poznawcze miało na nasz repertuar zachowań. Przez dziesiątki tysięcy pokoleń w okresie plejstoceńskim nasi przodkowie połączyli się w grupy, które utrzymywały się dzięki polowaniom i zbieractwu. Z czasem wyłaniająca się sprawność umysłowa pozwoliła im na wykształcenie wyrafinowanych zdolności planowania, organizowania i komunikowania się, nauczania i oceniania oraz osądzania i rozwiązywania problemów. Wykorzystując te zwiększone zdolności jednostek, grupy stawały się coraz bardziej wpływową siłą społeczną. A to prowadzi do następnych zdarzeń wyjaśniających rozwój, który sprawił, że staliśmy się tym, kim jesteśmy. W rozdziale 6 badamy nabycie umiejętności komunikacji za pomocą mowy i późniejszą obsesję na punkcie opowiadania historii; w rozdziale 7 analizujemy konkretny gatunek historii, taki, który zwiastuje i przechodzi w tradycję religijną. A w rozdziale 8 przyglądamy się wiecznie żywemu i powszechnemu poszukiwaniu twórczej ekspresji.

Szukając źródła tego rozwoju, zarówno w sferze *sacrum*, jak i *profanum*, naukowcy odwoływali się do szerokiego wachlarza wyjaśnień. Dla nas istotnym motywem przewodnim będzie nadal darwinowska ewolucja, stosowana obecnie do ludzkich zachowań. Mózg jest przecież tylko kolejną biologiczną strukturą ewoluującą pod wpływem doboru naturalnego i to właśnie on informuje o tym, co robimy i jak reagujemy. W ciągu ostatnich kilku dekad przedstawiciele nauk kognitywnych i psychologii ewolucyjnej rozwinęli ten punkt widzenia, ustalając, że nasza biologia i zachowania zostały ukształtowane przez siły doboru darwinowskiego. Dlatego w naszych badaniach ludzkiej kultury

często będziemy zadawać sobie pytanie, jak to czy tamto zachowanie mogło zwiększać szanse na reprodukcję i przetrwanie tych, którzy dawno temu nim się charakteryzowali, promując szerokie jego rozpowszechnianie na pokolenia potomków. Jednak w przeciwieństwie do kciuka przeciwstawnego lub chodu w postawie pionowej – to odziedziczone cechy fizjologiczne ściśle połączone z przystosowalnością gatunkową – wiele odziedziczonych cech mózgu bardziej kształtują predylekcje niż działania. Jesteśmy pod wpływem tych skłonności, ale aktywność człowieka pojawia się na skutek mieszania się tendencji behawioralnych i umysłu, złożonego, rozważnego i autorefleksyjnego.

W ten sposób drugi motyw przewodni, odmienny, ale nie mniej ważny, zostanie wykształcony przez życie wewnętrzne, które idzie w parze z naszymi wyrafinowanymi zdolnościami poznawczymi. Podążając szlakiem wyznaczonym przez wielu myślicieli, dojdziemy do odkrywczego wniosku, że ze zdolnością do poznania wiąże się potężna siła, taka, która w porę wyniosła nas do rangi gatunku dominującego na świecie. To właśnie jednak zdolności intelektualne, które pozwalają nam kształtować, formować i wprowadzać innowacje, położyły kres krótkowzroczności, która w przeciwnym razie utrzymywałaby nas w skupieniu na teraźniejszości. Zdolność do przemyślanej manipulacji otoczeniem daje nam możliwość zmiany punktu widzenia, do wzniesienia się ponad linię czasu i rozmyślania o tym, co było, i wyobrażania sobie tego, co będzie. Aby zrealizować slogan „myślę, więc jestem", trzeba było wbiec na oślep w jego replikę „jestem, dlatego umrę", choć wolelibyśmy, by było inaczej.

Delikatnie mówiąc, to, z czego zdajemy sobie sprawę, jest niepokojące. Jednak większość z nas może to wytrzymać. A przetrwanie ludzi jako gatunku świadczy o tym, że nasi bracia też mogą to wytrzymać. Ale jak to robimy?[10]Zgodnie z jedną linią rozumowania opowiadamy historie, w których nasze miejsce w rozległym Wszechświecie przemieszcza się do centrum sceny, a możliwość trwałego wymazania naszego bytu jest kwestionowana lub jest ignorowana – lub mówiąc wprost, nie jest pewna. Wykonujemy dzieła malarskie, rzeźbiarskie, baletowe i muzyczne, w których przejmujemy kontrolę nad tworzeniem i angażujemy się

w moc triumfu nad wszystkim, co skończone. Wyobrażamy sobie bohaterów, od Herkulesa po sir Gawaina i po Hermionę, którzy z bezwzględną determinacją zmuszają śmierć do odwrócenia wzroku i pokazują, aczkolwiek naiwnie, że potrafimy ją pokonać. Rozwijamy naukę, uzyskując wgląd w funkcjonowanie rzeczywistości, który przekształcamy w siły zarezerwowane przez wcześniejsze pokolenia dla bogów. Krótko mówiąc, możemy mieć nasze kognitywne ciastko – sprawność myśli, która, między innymi, ujawnia naszą kłopotliwą egzystencjalną sytuację – i także cieszyć się jego jedzeniem. Dzięki naszym twórczym zdolnościom rozwinęliśmy potężną obronę przed tym, co w przeciwnym razie byłoby destrukcyjnie działającym niepokojem.

Mimo to, ponieważ motywy nie zamienią się w skamieniałości, odnajdywanie inspiracji dla ludzkich zachowań może być zawiłym przedsięwzięciem. Być może nasze twórcze pierwsze kroki, od jeleni w Lascaux do równań ogólnej względności, wyłaniają się ze zdolności mózgu do wykrywania i spójnego organizowania wzorców. Być może te i pokrewne im działania są znakomite, ale stanowią też adaptacyjnie zbędne produkty uboczne wystarczająco dużego mózgu uwolnionego od pełnoetatowego skupienia na zapewnieniu schronienia i pożywienia. Jak powiemy dalej, teorii jest mnóstwo, ale niepodważalne wnioski są nieuchwytne. Nie ulega wątpliwości, że dzieła stające się później pomnikami ludzkiej pomysłowości, od piramid po *IX Symfonię* i mechanikę kwantową, wyobrażamy sobie, tworzymy i ich doświadczamy.

A wraz z tym, rozważywszy kosmiczne pochodzenie, zbadawszy formowanie się atomów, gwiazd i planet oraz ogarnąwszy wyłanianie się życia, świadomości i kultury, będziemy spoglądać w kierunku tej samej domeny, która przez tysiąclecia, dosłownie i symbolicznie, pobudzała i tłumiła nasz kosmiczny niepokój. Będziemy patrzeć stąd do wieczności.

Informacja, świadomość i wieczność

Wieczność będzie nadchodzić bardzo długo. Wiele wydarzy się po drodze. Zapierające dech wizje futurystów i hollywoodzkie produkcje fantastycznonaukowe przewidują, jak będzie wyglądało życie i cywilizacja w czasach, które według ludzkich standardów są bardzo odległe, ale bledną w porównaniu z kosmicznym wymiarem czasu. Ekstrapolowanie przyszłego rozwoju technologii z krótkiego odcinka czasu jej gwałtownego rozwoju jest zabawną rozrywką, lecz takie prognozy będą się zapewne znacząco różnić od faktycznego rozwoju wypadków. W ciągu dziesięcioleci, wieków i tysiącleci. Przewidywania tego rodzaju w kosmicznej skali czasu są trudem daremnym. Na szczęście większość tego, co tu będziemy badać, oparta zostanie na bardziej solidnych fundamentach. Zamiarem moim jest malowanie przyszłości Wszechświata bogatymi kolorami, ale tylko za pomocą najszerszych pociągnięć pędzla. I na takim poziomie szczegółowości możemy przedstawić perspektywy z rozsądnym stopniem ufności.

Bardzo istotne jest zdanie sobie sprawy z tego, że nie zdobędziemy spokoju emocjonalnego, skoro mamy pozostawić ślad w przyszłości, która będzie pozbawiona kogokolwiek, kto by to zauważył. Przyszłość, którą zwykle przewidujemy, nawet jeśli tylko niejawnie, zakłada obecność tych obiektów, na jakich nam zależy. Ewolucja z pewnością zmusi życie i umysł do przyjęcia bogactwa form wspieranych przez rozmaite platformy – biologiczne, obliczeniowe, hybrydowe – i kto wie, przez co jeszcze. Jednak większość z nas wyobraża sobie, że w bardzo odległej przyszłości życie tego samego rodzaju, a szczególnie życie inteligentne, będzie istnieć i myśleć niezależnie od nieprzewidywalnych szczegółów składu fizycznego czy środowiska.

I tu rodzi się pytanie, które przez cały czas będzie pozostawać razem z nami w czasie tej podróży: Czy proces świadomego myślenia może trwać bez końca? A może myślący umysł, taki jak tygrys tasmański czy dzięcioł wielkodzioby, jest czymś wyjątkowym, co powstaje na pewien czas, a potem wymiera? Nie mam na myśli czyjejś konkretnej świadomości, zagadnienie nie ma więc nic wspólnego z pożądanymi technologiami – kriogenicznymi, cyfrowymi lub jakimikolwiek – umożliwiającymi ocalenie danego umysłu. Natomiast zadaję pytanie, czy zjawisko myślenia, zachodzące

w ludzkim mózgu lub inteligentnym komputerze albo w splątanych cząsteczkach unoszących się w próżni lub w jakimkolwiek innym procesie fizycznym, który okaże się użyteczny, może dowolnie długo trwać w przyszłości.

Dlaczego miałoby nie trwać? Cóż, pomyślcie o ludzkim wcieleniu myśli. Powstało ono z fortunnego połączenia warunków środowiskowych i to wyjaśnia, dlaczego na przykład nasze myślenie odbywa się tutaj, a nie na Merkurym czy na komecie Halleya. Myślimy „tutaj", ponieważ tutaj warunki są przyjazne dla życia i myślenia. Dlatego szkodliwe zmiany klimatu na Ziemi są tak niepokojące. To, że istnieje kosmiczna wersja takich ważkich, ale prowincjonalnych obaw, nie jest wcale oczywiste. Gdy myśl traktujemy jak proces fizyczny (założenie, które zbadamy), to nie jest zaskoczeniem, że może ona powstać tylko wtedy, gdy spełnione są pewne rygorystyczne warunki środowiskowe, czy to na Ziemi tu i teraz, czy gdzieś tam i potem. Gdy rozważymy szeroko pojętą ewolucję Wszechświata, ustalimy, czy ewoluujące w przestrzeni i czasie warunki środowiskowe mogą wspierać inteligentne życie nieskończenie długo.

Oszacowanie będzie oparte na wnioskach wypływających z badań w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych, astrofizyki i kosmologii, pozwalają one bowiem przewidzieć, jak Wszechświat będzie się rozwijał w epokach, w porównaniu z którymi linia czasu od Wielkiego Wybuchu jest po prostu krótka. Istnieją oczywiście znaczne wątpliwości i jak większość naukowców żyję z myślą o tym, że natura ukarze naszą pychę i ujawni niespodzianki, których jeszcze nie potrafimy zgłębić. Jak przedstawiono w rozdziałach 9 i 10, to, co zmierzyliśmy, co zaobserwowaliśmy, oraz to, co obliczyliśmy i co znajdziemy, nie pokrzepia. Planety i gwiazdy, układy słoneczne i galaktyki, a nawet czarne dziury są przemijające. Koniec każdego z tych układów zachodzi pod wpływem charakterystycznej dla każdego z nich kombinacji procesów fizycznych, od kwantowych do relatywistycznych, i ostatecznie pozostawia po sobie mgłę cząstek dryfujących przez zimny i cichy kosmos.

Co stanie się ze świadomą myślą we Wszechświecie doświadczającym takiej przemiany? Język do udzielenia odpowiedzi

na to pytanie podsuwa po raz kolejny entropia. Podążając jej tropem, napotkamy całkowicie realną możliwość, że sam akt myślenia, dokonany gdziekolwiek przez jakąkolwiek istotę, może zostać udaremniony przez nieuniknione nagromadzenie się odpadów środowiskowych: w odległej przyszłości każda myśląca istota może spłonąć w żarze wytworzonym przez własne myśli. Sama myśl może fizycznie stać się niemożliwa.

Podczas gdy argument przeciwko niekończącej się myśli będzie oparty na konserwatywnym zestawie założeń, my również będziemy rozważać alternatywy, możliwe przyszłości bardziej sprzyjające życiu i myśleniu. Jednak najprostsza lektura sugeruje, że życie, a w szczególności życie inteligentne, jest efemeryczne. Interwał czasu na kosmicznej osi, w którym warunki pozwalają na istnienie autorefleksyjnych istot, może okazać się bardzo wąski. Rzućcie okiem na całą tę sprawę, a możecie całkowicie przegapić życie. Podana przez Nabokova charakterystyka życia ludzkiego jako „krótkiej szparki światła między dwiema wiecznymi ciemnościami”[11]może też odnosić się do samego zjawiska życia.

Opłakujemy nasze przemijanie i pocieszamy się symboliczną transcendencją, dziedzictwem tego, że w ogóle uczestniczyliśmy w podróży. Ty i ja nie będziemy tu już obecni, ale inni będą, i to, co ty i ja robimy, co ty i ja tworzymy, co ty i ja zostawiamy po sobie, przyczynia się do tego, czym będzie przyszłe życie i jak będzie ono żyć. Lecz we Wszechświecie, który ostatecznie zostanie pozbawiony życia i świadomości, nawet symboliczne dziedzictwo – szept przeznaczony dla naszych dalekich potomków – przepadnie w pustce.

Dokąd więc nas to prowadzi?

Rozważania nad przyszłością

Na ogół chłoniemy odkrycia dotyczące Wszechświata intelektualnie. Dowiadujemy się o nowych faktach dotyczących czasu lub zunifikowanych teorii albo czarnych dziur. Przez moment te wiadomości pobudzają umysł, a jeśli robią wystarczająco duże

wrażenie, to zostają zapamiętane. Abstrakcyjna natura nauk ścisłych wymaga zgłębiania jej treści poznawczo i tylko wtedy – i to rzadko – instynktownie mamy szanse na jej zrozumienie. Jednak gdy nauka przywołuje zarówno rozum, jak i emocje, efekt może być porażający.

Dobry przykład: Kilka lat temu, kiedy zacząłem myśleć o naukowych przepowiedniach dotyczących dalekiej przyszłości Wszechświata, moje doświadczenie było głównie intelektualne. Wchłonąłem odpowiedni materiał, który był dla mnie fascynującym, ale abstrakcyjnym zbiorem spostrzeżeń związanych z matematyką praw natury. Mimo to odkryłem, że jeśli bardzo starałem się *tak naprawdę* wyobrazić sobie całe życie, wszystkie myśli, wszystkie zmagania i wszystkie osiągnięcia będące ulotną aberracją na skądinąd pozbawionej życia kosmicznej skali czasu, to przyjąłem to inaczej. Mogłem to wyczuć. Mogłem to poczuć. I nie mam nic przeciwko podzieleniu się tym, że gdy po raz pierwszy tam byłem, podróż była mroczna. Przez dziesięciolecia studiów i badań naukowych często przeżywałem chwile uniesienia i zdziwienia, ale nigdy wcześniej nie uzyskałem wyników z zakresu matematyki i fizyki, które przytłoczyłyby mnie pustym strachem.

Z biegiem czasu moje emocjonalne zaangażowanie w te zagadnienia uległo wyrafinowaniu. Teraz najczęściej rozważania o dalekiej przyszłości pozostawiają we mnie uczucie spokoju i więzi, tak jakby moja własna tożsamość miała niewielkie znaczenie, ponieważ została podporządkowana temu, co mogę określić jedynie jako uczucie wdzięczności za dar doświadczenia. Ponieważ, co bardzo prawdopodobne, nie znasz mnie osobiście, pozwól mi umieścić to w kontekście. Nie mam uprzedzeń do wrażliwości, która wymaga rygoru. Pochodzę ze świata, w którym rozwiązujemy swoje zagadnienie za pomocą równań i powtarzalnych danych, świata, w którym ważność jest określana przez jednoznaczne obliczenia, dające przewidywania zgodne z eksperymentem cyfra po cyfrze, czasami aż do kilkunastu miejsc po przecinku. Kiedy więc po raz pierwszy miałem doznałem jednego z tych momentów spokojnej więzi – zdarzyło mi się być w Starbucksie w Nowym Jorku – byłem głęboko podejrzliwy. Być może mój earl grey był skażony złym mlekiem sojowym. A może traciłem zmysły.

Po zastanowieniu uznałem, że nie był to przypadek. Pochodzimy z długiej linii genealogicznej, która ukoiła swój egzystencjalny dyskomfort wyobrażeniem, że zostawia po sobie ślad. A im bardziej trwały ślad, tym bardziej nieusuwalny jego odcisk, tym bardziej wydaje się, że życie ma znaczenie. Filozof Robert Nozick wypowiedział te słowa – które równie łatwo mogłyby pochodzić od George'a Baileya – „Śmierć wymazuje cię... Całkowite wymazanie, śladów i wszystkiego, prowadzi do zniszczenia sensu czyjegoś życia”[12]. Nacisk na to, by nie zostać „wymazanym”, nieustanne skupienie na wytrwałości, może owładnąć całkowicie, zwłaszcza takich jak ja, tradycyjnie niereligijnych. Taka myśl całkowicie przeniknęła moje wychowanie, moją edukację, moją karierę, moje doświadczenia. Każdy etap życia przebywałem ze wzrokiem utkwionym w odległe cele, na dążeniu do osiągnięcia czegoś, co byłoby trwałe. Nie jest tajemnicą, dlaczego moje zawodowe zainteresowania zostały zdominowane przez matematyczną analizę przestrzeni, czasu i praw natury. Trudno sobie wyobrazić inną dyscyplinę, która chętniej skupiałaby codzienne myśli na zagadnieniach wykraczających poza daną chwilę. Natomiast odkrycie naukowe samo w sobie stawia tę perspektywę w innym świetle. Życie i myśl przypuszczalnie wypełniają minutową oazę w kosmicznej skali czasu. Wszechświat będzie odgrywał rolę gospodarza dla życia i umysłu tylko chwilowo, chociaż rządzi się eleganckimi prawami matematycznymi, które pozwalają na wszelkie cudowne procesy fizyczne. Jeśli weźmiecie pod uwagę, że przyszłość będzie bez gwiazd i planet, i istot, które myślą, wasz szacunek dla naszej epoki może przeobrazić się wręcz w cześć.

I *to* jest uczucie, którego doświadczyłem w Starbucksie. Spokój i więź oznaczały przejście od prób uchwycenia oddalającej się przyszłości do uczucia zamieszkiwania w zapierającej dech w piersiach, choć przemijającej teraźniejszości. Była to dla mnie zmiana, wymuszona przez kosmologiczny odpowiednik przewodnictwa duchowego, jakie przez wieki oferują, między niezliczonymi innymi, poeci i filozofowie, pisarze i artyści, mędrcy i nauczyciele, którzy przekazują prostą, ale zaskakująco subtelną prawdę, że życie jest tu i teraz. To sposób myślenia, który trudno

wciąż zachowywać, ale natchnął wielu. Widzimy to u Emily Dickinson: „»Na zawsze« składa się z wielu »teraz«”[13] i Thoreau: „wieczność jest w każdej chwili”[14]. Jest to, jak odkryłem, punkt widzenia, który staje się tym bardziej oczywisty, im bardziej zanurzamy się w pełny zakres czasu – od początku do końca – kosmologiczne tło, które zapewnia niezrównaną klarowność tego, jak wyjątkowe i ulotne jest tu i teraz.

Taka klarowność jest celem tej książki. Będziemy podróżować w czasie, od najbardziej wyrafinowanej wiedzy o początku do tego, co nauka jest w stanie określić jako koniec. Zbadamy, jak życie i umysł wyłaniają się z początkowego chaosu, i zastanowimy się nad tym, czym zajmuje się zbiór ciekawych, pełnych pasji, niespokojnych, autorefleksyjnych, pomysłowych i sceptycznych umysłów, zwłaszcza gdy dostrzegą własną śmiertelność. Zbadamy powstanie religii, potrzebę twórczej ekspresji, pojawienie się nauki, dążenie do prawdy i tęsknotę za tym, co ponadczasowe. Głęboko zakorzeniona potrzeba czegoś trwałego, tego, co Franz Kafka określił jako potrzebę „czegoś niezniszczalnego”[15], będzie napędzać nasz dalszy marsz ku odległej przyszłości, pozwalając przedstawić perspektywy, jakie ma wszystko, co jest nam drogie, wszystko, co stanowi rzeczywistość taką, jaką znamy, od planet i gwiazd, galaktyk i czarnych dziur po życie i umysł.

Ludzki duch będzie przenikał to wszystko. Jesteśmy ambitnymi odkrywcami, którzy starają się uchwycić jak najbardziej rozległy obszar rzeczywistości. Wieki wysiłków oświetliły ciemne obszary materii, umysłu i kosmosu. W ciągu kolejnych tysiącleci oświetlone sfery będą się powiększać i rozjaśniać. Dotychczasowa podróż pokazała, że rzeczywistość rządzi się prawami matematyki, które są obojętne na kodeksy postępowania, normy piękna, potrzebę towarzystwa, pragnienie zrozumienia i dążenie do celu. Jednak przez język i historię, sztukę i mit, religię i naukę wykorzystaliśmy małą część beznamiętnego, bezlitosnego, mechanicznego rozwoju kosmosu, aby dać głos naszej wszechogarniającej potrzebie spójności, wartości i znaczenia. To znakomity wkład, ale chwilowy. Jak jasno wynika z naszej wędrówki w czasie, życie jest przypuszczalnie przemijające, a wszelka wiedza, która wyłania się

wraz z jego pojawieniem, niemal na pewno rozpłynie się wraz z jego końcem. Nic nie jest trwałe. Nic nie jest absolutne. A więc w poszukiwaniu wartości i celu jedynymi wyobrażeniami znaczenia i jedynymi znaczącymi odpowiedziami są te, które tworzymy sami. W końcu w tej naszej krótkiej chwili pod Słońcem wyznaczono nam szlachetne zadanie odkrycia własnego znaczenia.

Ruszajmy.

6 William James, *The Varieties of Religious Experience: A Study in Human Nature*, Longmans, Green, and Co., Nowy Jork 1905, s. 140.

7 Ernest Becker, *The Denial of Death*, Free Press, Nowy Jork 1973, s. 31. Becker uznał, że Otto Rank miał na niego dominujący wpływ.

8 Ralph Waldo Emerson, *The Conduct of Life*, Houghton Mifflin Company, Boston–Nowy Jork 1922, przyp. 38, 424.

9 E.O. Wilson powołuje się na słowo „konsiliencja", aby opisać swoją wizję połączenia odmiennej wiedzy w celu uzyskania głębszego zrozumienia. E.O. Wilson, *Consilience: The Unity of Knowledge*, Vintage Books, Nowy Jork 1999.

10 W późniejszych rozdziałach omówię dowody sugerujące ogromny wpływ rodzącej się u człowieka świadomości śmiertelności, ale ponieważ niewiele jest niepodważalnych danych świadczących o starożytnym ludzkim sposobie myślenia, wniosek ten nie jest powszechnie akceptowany. Alternatywny punkt widzenia dowodzi, że strach przed śmiercią jest współczesnym utrapieniem, zob. np. Philippe Ariès, *The Hour of Our Death*, przeł. Helen Weaver, Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1981. Zgodnie z punktem widzenia Beckera, opartym na spostrzeżeniach Otto Ranka, lęk przed śmiercią jest głęboko zakorzeniony w naszym gatunku.

11 Vladimir Nabokov, *Speak, Memory: An Autobiography Revisited*, Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1999, s. 9.

12 Robert Nozick, *Philosophy and the Meaning of Life*, w: *Life, Death, and Meaning: Key Philosophical Readings on the Big Questions*, red. David Benatar, The Rowman & Littlefield Publishing Group, Lanham, MD 2010, s. 73–74.

13 Emily Dickinson, *The Poems of Emily Dickinson*, red. R.W. Franklin, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA 1999, s. 307.

14 Henry David Thoreau, *The Journal, 1837–1861*, New York Review Books Classics, Nowy Jork 2009, s. 563.

15 Franz Kafka, *The Blue Octavo Notebooks*, przeł. Ernst Kaiser i Eithne Wilkens, red. Max Brod Exact Change, Cambridge, MA 1991, s. 91.

Rozdział 2

Język czasu

Przeszłość, przyszłość i zmiana

Wieczorem 28 stycznia 1948 roku między *Kwartetem a-moll* Schuberta a angielskimi pieśniami ludowymi radio BBC transmitowało debatę między jednym z najsłynniejszych intelektualistów XX wieku, Bertrandem Russellem, a jezuitą księdzem Frederickiem Coplestonem[16]. Temat? Istnienie Boga. Nowatorskie prace z zakresu filozofii i ideałów humanitarnych przyniosły Russellowi w 1950 roku literacką Nagrodę Nobla, a jego obrazoburcze poglądy polityczne i społeczne doprowadziły do usunięcia go zarówno z Uniwersytetu w Cambridge, jak i z City College of New York. W tej debacie filozof przedstawił wielu argumentów przemawiających za zakwestionowaniem, a nawet odrzuceniem istnienia Stwórcy.

Jedna z myśli, która określała stanowisko Russella, jest istotna dla naszych poszukiwań. „Jeśli chodzi o dowody naukowe – zauważył – Wszechświat przechodził powolne etapy aż do nieco żałosnego wyniku na tej ziemi i będzie przechodził przez jeszcze bardziej żałosne etapy do stanu powszechnej śmierci". Prezentując tak przygnębiający pogląd, Russell zakończył stwierdzeniem, że „jeśli ma to być traktowane jako dowód celu, mogę tylko powiedzieć, że jest to taki cel, który mi się nie podoba. Nie widzę więc powodu, aby wierzyć w Boga jakiegokolwiek rodzaju"[17]. Wątek teologiczny będzie się jeszcze przewijał w następnych rozdziałach. Tutaj chcę się skupić

na odwołaniu się Russella do naukowych dowodów na „powszechną śmierć". Pochodzą one z dziewiętnastowiecznego odkrycia, którego korzenie są tak skromne, jak jego wnioski głębokie.

W połowie XVIII wieku rewolucja przemysłowa była w pełnym rozkwicie, a w całym krajobrazie młynów i fabryk silnik parowy stał się koniem roboczym napędzającym produkcję. Niemniej jednak nawet mimo radykalnego przeskoku od pracy ręcznej do zmechanizowanej wydajność maszyny parowej – osiągana użyteczna praca w porównaniu z ilością zużywanego paliwa była niewielka. Około 95 procent ciepła wytworzonego w wyniku spalania drewna lub węgla było rozpraszane do środowiska w formie strat. Zainspirowało to garstkę naukowców do głębokiego zastanowienia się nad fizycznymi zasadami rządzącymi silnikami parowymi, w poszukiwaniu sposobów, jak uzyskać więcej i spalać mniej. Na przestrzeni wielu dziesięcioleci ich badania stopniowo doprowadziły do rezultatu, który stał się zasłużenie sławny: *drugiego prawa termodynamiki*.

Przedstawiając je językiem potocznym, powiemy, że straty energii są nieuniknione. Niezwykle ważnym zaś czyni je fakt, że ma ono uniwersalne zastosowanie, chociaż pierwotnie wymyślono to prawo dla silników parowych. Drugie prawo opisuje podstawową cechę całej materii i energii, niezależnie od jej struktury i formy, zarówno żywej, jak i nieożywionej. Ujawnia (w języku potocznym), że wszystko we Wszechświecie ma przytłaczającą tendencję do wyczerpywania się, degradacji, zamierania.

Potocznie mówiąc: widać, skąd czerpał wiedzę Russell. Wydaje się, że przyszłość obiecuje nieustanną degradację, nieustanną przemianę produktywnej energii w bezużyteczne ciepło, że tak powiem, stały drenaż baterii zasilających rzeczywistość. Jednak bardziej precyzyjne rozumienie nauki ujawnia, że to podsumowanie, dokąd zmierza rzeczywistość, przesłania bogaty i zróżnicowany postęp, który trwa od czasu Wielkiego Wybuchu i przeniesie się na daleką przyszłość. Jest to postęp, który pomaga wyjaśnić nasze miejsce w kosmicznej skali czasu, wyjaśnia, jak piękno i porządek tworzą się na tle degradacji i rozkładu, a także oferuje potencjalne sposoby, choć egzotyczne, na uniknięcie ponurego końca, który przewidywał

Russell. Ponieważ właśnie ta sama nauka, obejmująca takie pojęcia jak entropia, informacja i energia, będzie kierowała znaczną częścią naszej podróży, warto poświęcić trochę czasu, aby ją lepiej zrozumieć.

Maszyny parowe

Daleko mi do tego, by sugerować, że znaczenie życia może czaić się w spoconych głębinach hałaśliwej maszyny parowej. Jednak zrozumienie, jak maszyna parowa wykorzystuje ciepło spalanego paliwa i napędza powtarzające się ruchy kół lokomotywy lub pompy w kopalni węgla, okazuje się niezbędne do zrozumienia, jak energia – wszelkiego rodzaju i w dowolnym kontekście – ewoluuje w czasie. A sposób, w jaki energia ewoluuje, ma głęboki wpływ na przyszłość materii, umysłu i wszystkich struktur we Wszechświecie. Zejdźmy więc ze wzniosłych sfer życia i śmierci oraz celu i znaczenia do nieustannego klekotania osiemnastowiecznej maszyny parowej.

Podstawy naukowe działania maszyny parowej są proste, ale genialne: para wodna rozpręża się po ogrzaniu i w ten sposób wywiera ciśnienie na zewnątrz. W maszynie parowej jest to wykorzystane w cylindrze wypełnionym parą, który jest zamknięty przez ściśle dopasowany tłok, swobodnie wykonujący ruch posuwisto-zwrotny po wewnętrznej powierzchni cylindra. Gdy ogrzewana para rozpręża się, naciska mocno na tłok i ten napór napędza obrót koła, młyn do mielenia lub krosno do tkania. Następnie, po wydatkowaniu energii na wykonanie zewnętrznej pracy, para ulega ochłodzeniu, a tłok przesuwa się na powrót do pozycji wyjściowej i pozostaje gotowy do ruchu, gdy para zostanie ponownie podgrzewana – to cykl, który będzie się powtarzał dopóty, dopóki spala się paliwo, które ogrzewa parę[18].

Historia przypisuje maszynie parowej główną rolę w rewolucji przemysłowej, jednak zagadnienia, które z nią się wiązały, były dla nauk podstawowych równie istotne. Czy możemy opisać maszynę parową z matematyczną precyzją? Czy istnieje dla niej jakaś granica sprawności przetwarzania ciepła w pracę użyteczną? Jakie są

podstawowe procesy zachodzące w maszynie parowej, niezależne od szczegółów jej konstrukcji lub zastosowanych materiałów i tym samym opierające się na uniwersalnych zasadach fizycznych?

Zastanawiając się nad tymi pytaniami, francuski fizyk i inżynier wojskowy Sadi Carnot stworzył nową dziedzinę zwaną termodynamiką – naukę o cieple, energii i pracy. Nie dowiedzielibyście się o tym, kupując jego traktat z 1824 roku *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (Refleksje na temat siły napędowej ognia)[19]. Jednak choć jego idee powoli nabierały tempa, w ciągu następnego stulecia zainspirowały uczonych do wypracowania radykalnie nowego spojrzenia na fizykę.

Podejście statystyczne

Tradycyjny naukowy punkt widzenia przekazany w formie matematycznej przez Isaaca Newtona jest taki, że prawa fizyczne dostarczają niezbitych przewidywań dotyczących ruchu ciał. Podaj mi położenie i prędkość ciała w danej chwili, podaj mi, jakie siły na nie działają, a równania Newtona zrobią resztę, przewidując jego dalszą trajektorię. Czy dotyczy to Księżyca przyciąganego ziemską grawitacją, czy też piłki bejsbolowej, którą właśnie odbijasz w kierunku środkowego pola, obserwacje potwierdziły, że te przewidywania są bezbłędne.

Jednak być może z fizyki w liceum przypominasz sobie, że kiedy analizujemy trajektorie obiektów makroskopowych, przeważnie milcząco wprowadzamy wiele uproszczeń. W przykładzie z Księżycem i piłką ignorujemy ich wewnętrzną strukturę i wyobrażamy sobie, że każde z nich jest tylko pojedynczą masywną cząstką. Jest to grube przybliżenie. Nawet ziarenko soli zawiera około miliarda miliardów cząsteczek, a to tylko ziarenko soli. Gdy Księżyc krąży po orbicie, wcale nas nie obchodzi przemieszczanie się tej czy innej cząsteczki po zapylonym Morzu Spokoju. Gdy leci piłka, nie dbamy o drgania tej czy innej cząsteczki tworzącej jej korkowy rdzeń. Ruch Księżyca lub piłki jako całości jest wszystkim, czego szukamy. I stosowane do

takich uproszczonych modeli równania Newtona spełniają swoją funkcję[20].

Sukcesy te uwydatniają wyzwanie, jakie napotkali dziewiętnastowieczni fizycy zajmujący się maszynami parowymi. Gorąca para napierająca na tłok maszyny składa się z ogromnej liczby cząsteczek wody, być może nawet biliona bilionów. Nie możemy zignorować takiej wewnętrznej struktury, jak to robimy podczas analizy ruchu Księżyca lub piłki. To właśnie ruch tych cząsteczek – uderzających w dno tłoka, odbijających się od jego powierzchni, uderzających w ściany cylindra i lecących z powrotem w kierunku tłoka – leży u podstaw zasad pracy maszyny. Problem polega na tym, że nie ma możliwości, aby ktokolwiek, gdziekolwiek, żeby nie wiem jak bystry i jak sprawnych komputerów używał, mógł obliczyć wszystkie trajektorie, po których tak ogromny zbiór cząsteczek wody się porusza.

Czy utknęliśmy?

Można by tak pomyśleć. Jak się okazuje, ratuje nas zmiana punktu widzenia. Wielkie zbiory mogą czasem mieć własne, potężne uproszczenia. Z pewnością trudno, a nawet wręcz nie da się przewidzieć, kiedy znowu kichniesz. Jeśli jednak poszerzymy nasze obserwacje na większy zbiór wszystkich ludzi na Ziemi, możemy przewidzieć, że w następnej sekundzie na całym świecie zajdzie około osiemdziesięciu tysięcy kichnięć[21]. Chodzi o to, że w zastosowanym statystycznym podejściu duża populacja Ziemi staje się kluczem – nie przeszkodą – do wzmocnienia siły prognozy. Duże grupy często wykazują statystyczne regularności, których brak w odniesieniu do jednostki.

Analogiczne podejście do dużych grup atomów i molekuł zostało zapoczątkowane przez Jamesa Clerka Maxwella, Rudolfa Clausiusa, Ludwiga Boltzmanna i wielu ich kolegów. Opowiadali się oni za odrzuceniem szczegółowego rozważenia poszczególnych trajektorii na korzyść twierdzeń statystycznych opisujących uśrednione zachowanie dużych zbiorów cząstek. Wykazali, że takie podejście nie tylko umożliwia matematyczne rozwiązanie problemu, lecz także można w ten sposób określić ilościowo właściwości fizyczne, które mają zasadnicze znaczenie. Na przykład na ciśnienie działające na

tłok maszyny parowej nie ma większego wpływu trajektoria, po której porusza się ta lub inna pojedyncza cząsteczka wody. Ciśnienie to wynika ze średniego ruchu trylionów cząsteczek, które uderzają co sekundę w jego powierzchnię. *To jest właśnie to*, co się liczy. I *to* statystyczne podejście pozwoliło uczonym obliczać.

W obecnej epoce sondaży politycznych, genetyki populacyjnej i ogólnie rzecz biorąc, przetwarzania ogromnych zbiorów danych, podejście statystyczne może nie brzmieć tak radykalnie jak wówczas. Przyzwyczailiśmy się do znaczenia wniosków statystycznych wynikających z badania dużych grup. Jednak w XIX i na początku XX wieku rozumowanie statystyczne było odejściem od sztywnej precyzji, charakterystycznej dla fizyki. Należy również pamiętać, że w pierwszych latach XX wieku nadal żyli szanowani naukowcy, którzy kwestionowali istnienie atomów i cząsteczek – podstawy statystycznego punktu widzenia.

Niezależnie od przeciwników nie trzeba było długo czekać, aż statystyczne rozumowanie udowodni swoją wartość. W 1905 roku sam Einstein ilościowo objaśnił chaotyczny ruch pyłków na powierzchni wody, powołując się na nieustanne ich zderzenia z cząsteczkami H_2O. W świetle tego sukcesu trzeba było być zatwardziałym przeciwnikiem atomowej teorii materii, aby wątpić w istnienie cząsteczek. Co więcej, powiększająca się liczba prac teoretycznych i eksperymentalnych dowodziła, że wnioski oparte na analizach statystycznych dużych zbiorów cząsteczek – opisujące ich zderzenia ze ściankami pojemnika i jako wynik ciśnienie skierowane na zewnątrz, ich temperaturę i gęstość jako funkcję chaotycznego ruchu – tak znakomicie pasowały do otrzymanych danych, iż po prostu nie było powodu do dalszego kwestionowania tego podejścia. W ten sposób narodziły się statystyczne podstawy procesów cieplnych.

To wszystko było wielkim triumfem i pozwoliło fizykom zrozumieć nie tylko maszyny parowe, lecz także szeroki wachlarz układów cieplnych – od atmosfery ziemskiej przez koronę słoneczną aż po ogromny zbiór cząstek zawarty w gwieździe neutronowej. A jak to się ma do wizji przyszłości według Russella? Do jego prognozy, że

Wszechświat dąży ku śmierci? Dobre pytanie. Zaraz na nie odpowiemy, ale mamy jeszcze kilka kroków do zrobienia. Następny to wykorzystanie tego podejścia w celu rzucenia światła na typową właściwość przyszłości: to, że różni się ona zasadniczo od przeszłości.

Od tego do tamtego

Rozróżnienie między przeszłością a przyszłością jest zarazem podstawowe i decydujące dla ludzkiego doświadczenia. Urodziliśmy się w przeszłości. Umrzemy w przyszłości. W tym czasie jesteśmy świadkami niezliczonych wydarzeń, które – jeśli rozważyć je w odwrotnej kolejności – wydawałyby się absurdalne. Van Gogh namalował *Gwiaździstą noc*, ale odwrotnymi pociągnięciami pędzla nie mógł usunąć kłębiących się kolorów, by przywrócić puste płótno. „Titanic" otarł się o brzeg góry lodowej i rozdarł swój kadłub, ale nie mógł włączyć silników na wsteczny bieg i cofnąć uszkodzenia. Każdy z nas rośnie i starzeje się, ale nie możemy cofnąć wskazówek naszych wewnętrznych zegarów i odzyskać młodości.

Ponieważ nieodwracalność jest tak ważna dla ewolucji wszystkiego, można by pomyśleć, że możemy łatwo zidentyfikować jej matematyczne pochodzenie w prawach fizyki. Z pewnością powinniśmy móc wskazać w równaniach coś konkretnego, co powoduje, że chociaż obiekty mogą przekształcać się od *tego* do *tamtego*, to matematyka zabrania im jednak przekształcania się od *tamtego* do *tego*. Przez setki lat równania, które tworzono, nie oferowały niczego podobnego. Natomiast ponieważ prawa fizyki były nieustannie udoskonalane, przechodząc przez ręce Newtona (mechanika klasyczna), Maxwella (elektromagnetyzm), Einsteina (fizyka relatywistyczna) i dziesiątków uczonych tworzących fizykę kwantową, jedna cecha pozostawała stabilna: prawa niezłomnie trzymały się całkowitej niewrażliwości na to, co my, ludzie, nazywamy przyszłością i co nazywamy przeszłością. Biorąc pod uwagę obecny stan świata, równania matematyczne traktują jego ewolucję ku przyszłości w taki sam sposób jak jego ewolucję ku

przeszłości. Chociaż to rozróżnienie ma dla nas ogromne znaczenie, to prawa fizyki są na tę różnicę obojętne, tak jak zegar na stadionie, który albo odlicza czas, jaki upłynął, albo jaki jeszcze pozostał. Oznacza to, że jeśli prawa zezwalają na wystąpienie określonej sekwencji zdarzeń, to muszą one zezwalać także na sekwencję odwrotną[22].

Kiedy dowiedziałem się o tym po raz pierwszy jako student, uznałem to za absurdalne. W prawdziwym świecie nie widzimy skoczków olimpijskich wyskakujących z wody i lądujących spokojnie na trampolinie. Nie widzimy odłamków kolorowego szkła wylatujących w górę z podłogi i składających się ponownie w lampę Tiffany'ego. Filmy wyświetlane w odwrotnym kierunku są zabawne właśnie dlatego, że to, co oglądamy, tak bardzo różni się od tego, czego doświadczamy. A jednak, zgodnie z matematyką, wydarzenia przedstawione w filmach wyświetlanych w odwrotnym kierunku są w pełni zgodne z prawami fizyki.

Dlaczego więc nasze doświadczenia są tak asymetryczne? Dlaczego obserwujemy zdarzenia zachodzące tylko w jednym kierunku upływu czasu, a nigdy w przeciwnym? Zasadniczą część odpowiedzi ujawni pojęcie *entropii*, która jest koncepcją istotną dla zrozumienia rozwoju kosmosu.

Entropia: Pierwsze podejście

Entropia jest jednym z bardziej zagmatwanych pojęć fizyki. Ten fakt w niczym nie zmniejsza upodobania do swobodnego powoływania się na entropię do opisu codziennych sytuacji, które rozwijają się od porządku do chaosu lub, mówiąc prościej, od dobra do zła. Takie kolokwialne użycie obu terminów jest w porządku; czasami nawet ja w ten sposób odwoływałem się do entropii. A ponieważ naukowa koncepcja entropii będzie myślą przewodnią naszej podróży – a także leży u podstaw mrocznej wizji przyszłości według Russella – poznajmy bardziej precyzyjne jej znaczenie.

Zacznijmy od analogii. Wyobraź sobie, że energicznie potrząsasz sakiewką zawierającą sto groszy, a następnie wyrzucasz je na stół

w jadalni. Gdy zobaczysz, że wszystkie te sto monet leży orłami do góry, na pewno odczujesz zaskoczenie. Dlaczego? Wydaje się to oczywiste, ale warto przemyśleć odpowiedź. Brak nawet jednej reszki oznacza, że każda ze stu monet, rzucona przypadkowo, uderzona i odbita, musi upaść na stół i wylądować orłem do góry. To trudne. Uzyskanie takiego wyjątkowego wyniku oznacza wysoki porządek. Dla porównania weźmy pod uwagę nawet nieco inny wynik, powiedzmy taki, w którym mamy jedną reszkę (a pozostałe 99 monet nadal leży orłami w górę) – może się tak zdarzyć na sto różnych sposobów: samotna reszka może być pierwszą monetą albo może być drugą monetą, albo trzecią, i tak dalej aż do setnej. Uzyskanie 99 orłów jest więc sto razy łatwiejsze – sto razy bardziej prawdopodobne – niż uzyskanie wszystkich orłów.

Kontynuujmy. Małe obliczenie pokazuje, że istnieje 4950 różnych sposobów na uzyskanie dwóch reszek (pierwsza i druga moneta reszka; pierwsza i trzecia reszka; druga i trzecia reszka; pierwsza i czwarta reszka i tak dalej). Trochę więcej obliczeń i okazuje się, że jest 161 700 różnych sposobów na to, aby trzy monety leżały reszkami do góry, prawie 4 miliony sposobów na to, aby uzyskać cztery reszki; i około 75 milionów sposobów na to, aby mieć pięć reszek. Szczegóły tych obliczeń nie mają większego znaczenia; chodzi mi tylko o ukazanie ogólnego trendu. Każda dodatkowa reszka zwiększa zbiór sposobów, które pasują do wyniku. Liczba takich konfiguracji osiąga maksimum dla 50 reszek (i 50 orłów) i wynosi około 100 miliardów miliardów miliardów (no dobrze, 100 891 344 545 564 193 334 812 497 256 kombinacji)[23]. Uzyskanie 50 orłów i 50 reszek jest zatem około 100 miliardów miliardów miliardów razy bardziej prawdopodobne niż uzyskanie wszystkich orłów.

I dlatego uzyskanie wszystkich orłów byłoby tak szokujące.

Wyjaśniając te zagadnienia, liczę na to, że większość z nas intuicyjnie zrozumie analogię, jaka istnieje między zbiorem monet, i zbiornikiem z parą, którego analizą zajmowali się Maxwell i Boltzmann. Podobnie jak naukowcy, którzy nie zamierzali analizować pary cząsteczka po cząsteczce, my też nie badamy nieuporządkowanego zbioru monet sztuka po sztuce. Nie zwracamy

uwagi na to, czy 29. moneta leży orłem do góry, czy też 71. leży reszką do góry. Natomiast analizujemy zbiór monet jako całość. A cechą, która przykuwa nasz wzrok, jest liczba orłów w stosunku do liczby reszek: Czy jest więcej orłów niż reszek, czy więcej reszek niż orłów? Ile razy więcej? Dwa, trzy? Czy też mniej więcej tyle samo? Możemy zaobserwować znaczne zmiany liczby orłów w stosunku do liczby reszek, ale losowe zmiany położenia monet, które zachowują dane proporcje – takie jak odwrócenie reszki na orła w monetach numer 23, 46 i 92 oraz odwrócenie orła na reszkę w monetach numer 17, 52 i 81 – są praktycznie nie do odróżnienia. W związku z tym podzieliłem możliwe wyniki na grupy, z których każda zawiera konfiguracje monet wyglądających tak samo, i podałem liczbę elementów w każdej z tych grup: do jednej grupy zaliczyłem wyniki bez reszek, do następnej z 1 reszką, do dalszej z 2 reszkami, i tak dalej, aż do takiej z 50 reszkami.

Kluczowa obserwacja jest taka, że grupy te nie mają równej liczby elementów. Nawet w przybliżeniu. Teraz staje się oczywiste, dlaczego takie zdumienie budzi fakt, gdy po rozsypaniu monet nie pojawi się żadna reszka (grupa z dokładnie 1 elementem), nieco mniejsze – uzyskanie jednej reszki (grupa ze 100 elementami), jeszcze trochę mniejsze – otrzymanie dwóch reszek (grupa z 4950 elementami), ale każdy by ziewnął, gdyby po wysypaniu monet pojawiła się konfiguracja, w której połowa monet leży orłami w górę, a druga połowa reszkami (grupa składająca się z około 100 miliardów miliardów elementów). Im więcej elementów w danej grupie, tym większe jest prawdopodobieństwo, że wynik rozrzucenia monet będzie należał do tej grupy. Liczy się rozmiar grupy.

Jeśli ten materiał jest dla was nowy, możecie nie zdawać sobie sprawy, że właśnie zilustrowaliśmy istotę entropii. Entropia danej konfiguracji monet jest funkcją liczby elementów jej grupy – liczby takich konfiguracji, które wyglądają tak jak dana konfiguracja[24]. Jeśli dana konfiguracja ma wiele podobnych do siebie konfiguracji, to ma wysoką entropię. Jeśli ma takich konfiguracji niewiele, to ma entropię niską. Wynikiem losowego rozsypania monet będzie najprawdopodobniej konfiguracja o wysokiej entropii, ponieważ będzie należeć do grupy o dużej liczbie elementów.

Takie sformułowanie ma także związek z potocznym rozumieniem entropii, do którego odwoływałem się na początku tego ustępu. Intuicyjnie konfiguracje prezentujące nieład (pomyślcie o biurku z chaotycznie rozrzuconymi stertami dokumentów, piórami, spinaczami) mają wysoką entropię, ponieważ na wiele sposobów można przekładać składniki, a niechlujny wygląd pozostaje taki sam. Losowa zmiana nieuporządkowanej konfiguracji wciąż jest nieporządkiem. Uporządkowane konfiguracje (pomyślcie o nieskazitelnie czystym biurku, na którym wszystkie dokumenty, pióra i spinacze są schludnie rozmieszczone w wyznaczonych miejscach) mają niską entropię, ponieważ bardzo niewiele aranżacji składników wygląda tak samo. Podobnie jak w przypadku monet, wysoka entropia kusi, ponieważ liczba nieuporządkowanych aranżacji znacznie przewyższa liczbę tych uporządkowanych.

Entropia: poważna sprawa

Przykład z monetami jest szczególnie użyteczny, ponieważ ilustruje sposób, w jaki uczeni radzili sobie z ogromnym zbiorem cząsteczek w roli układu fizycznego, czy to cząsteczek wody w gorącej maszynie parowej, czy też cząsteczek powietrza zapełniających pomieszczenie, w którym teraz oddychasz. Podobnie jak w przypadku monet, ignorujemy szczegóły dotyczące pojedynczych cząsteczek – to, czy dana cząsteczka wody lub powietrza znajduje się w tym czy innym miejscu, ma niewielkie konsekwencje – i zamiast tego grupujemy razem te konfiguracje cząsteczek, które w zasadzie wyglądają tak samo. W przypadku monet kryterium podobieństwa stanowił stosunek orłów do reszek. Zazwyczaj jest nam obojętne położenie każdej konkretnej monety i zwracamy uwagę tylko na ogólny wygląd konfiguracji. Co jednak oznacza „taki sam wygląd” dla dużego zbioru cząsteczek gazu?

Pomyślmy o powietrzu, które wypełnia teraz twój pokój. Większość z nas nie przejmuje się tym, czy ta cząsteczka tlenu przemyka przez okno, czy też tamta cząsteczka azotu odbija się od podłogi. Ważne dla ciebie jest tylko to, aby była odpowiednia ilość powietrza, gdy

nim oddychasz. Otóż jest jeszcze kilka innych własności, na których prawdopodobnie ci zależy. Gdyby temperatura powietrza była tak wysoka, że wypalałaby ci płuca, będziesz się fatalnie czuć. Albo gdyby ciśnienie powietrza było tak wysokie (a ty nie wyrównasz ciśnienia w uszach), że pękałyby ci bębenki, też byłoby to nieprzyjemne. Twoje obawy dotyczą więc objętości powietrza, jego temperatury i ciśnienia. Rzeczywiście, są to te makroskopowe własności, które badają fizycy od czasów Maxwella i Boltzmanna aż po dzień dzisiejszy.

A zatem w odniesieniu do dużego zbioru cząsteczek w pojemniku mówimy, że różne konfiguracje „wyglądają całkiem tak samo", jeśli wypełniają tę samą objętość, mają tę samą temperaturę i wywierają to samo ciśnienie. Podobnie jak w przypadku monet, grupujemy razem wszystkie konfiguracje cząsteczek wyglądające podobnie i mówimy, że każdy element grupy realizuje ten sam *makrostan*. Entropia makrostanu to liczba takich wyglądających podobnie konfiguracji. Zakładam, że nie włączysz ogrzewacza powietrza (wpływającego na temperaturę), nie ustawisz nieprzepuszczalnej przegrody w pomieszczeniu (wpływającej na objętość), nie wpompowujesz dodatkowego tlenu (wpływającego na ciśnienie), zatem wciąż ewoluujące konfiguracje cząsteczek powietrza przemieszczających się wewnątrz pomieszczenia, w którym teraz przebywasz, należą do tej samej grupy – wyglądają prawie tak samo – ponieważ wszystkie stwarzają te same makroskopowe własności, których obecnie doświadczasz.

Pogrupowanie konfiguracji cząsteczek na wyglądające podobnie stwarza niezwykle przydatny schemat. Tak jak losowo rozrzucone monety bardziej prawdopodobnie należą do grupy o większej liczbie elementów (z wyższą entropią), to samo odnosi się do losowo zderzających się ze sobą cząsteczek. Implikacje tego faktu są tak dalekosiężne, jak zrozumienie go proste. Niezależnie od tego, czy dotyczy to zderzających się ze sobą cząstek w maszynie parowej, w twoim pokoju czy gdziekolwiek indziej, dzięki zrozumieniu typowych cech najbardziej powszechnych konfiguracji (tych, które należą do grup o największej liczbie elementów) możemy dokonać przewidywań dotyczących makroskopowych własności układu – tych

własności, na których nam zależy. Są to przewidywania statystyczne, ale o dokładności bardzo wysoko prawdopodobnej. A najważniejsze jest to, że osiągamy to wszystko, unikając jednocześnie analizy trajektorii absurdalnie wielkiej liczby cząstek.

Aby wykonać program, musimy więc spotęgować zdolność odróżniania powszechnych konfiguracji cząstek (o wysokiej entropii) od tych rzadkich (o niskiej entropii). Oznacza to, że mając dany stan układu fizycznego, musimy określić, czy istnieje wiele, czy też niewiele przestawień jego części składowych, które sprawią, że układ będzie wyglądał całkiem tak samo. Jako studium przypadku rozpatrzmy wypełnioną parą łazienkę tuż po długim gorącym prysznicu. Aby określić entropię pary, musimy policzyć liczbę konfiguracji cząsteczek – ich możliwe położenia i możliwe prędkości – które mają te same właściwości makroskopowe, tzn. mają tę samą objętość, tę samą temperaturę i to samo ciśnienie[25]. Przeprowadzenie obliczeń dla zbioru cząsteczek H_2O jest trudniejsze niż podobne obliczenia dla zbioru monet, ale jest to coś, czego większość studentów fizyki uczy się na drugim roku studiów. Prostsze i bardziej pouczające jest wykazanie, jak na entropię wpływa zmiana objętości, temperatury i ciśnienia.

Najpierw objętość. Wyobraź sobie, że wszystkie cząsteczki H_2O skupiają się w jednym rogu łazienki, tworząc gęsty kłąb pary. W tej konfiguracji możliwe przestawienia położeń cząsteczek zostają mocno ograniczone; podczas przesuwania cząsteczek H_2O musisz utrzymywać je w tym kłębie, bo w przeciwnym razie zmodyfikowana konfiguracja *będzie* wyglądać inaczej. Dla porównania kiedy para jest równomiernie rozprowadzona w całej łazience, gra w przetasowywanie cząsteczek ma znacznie mniej ograniczeń. Możesz zamieniać pozycje cząsteczek w pobliżu toaletki z tymi unoszącymi się przy oprawie oświetleniowej, te w pobliżu zasłony prysznicowej z tymi kotłującymi się przy oknie, a mimo to, ogólnie rzecz biorąc, para będzie wyglądać tak samo. Zauważ przy tym, że im większa jest łazienka, tym większa jest wokół liczba położeń, które mogą zająć molekuły, a to zwiększa dostępną liczbę rekonfiguracji. Wniosek jest więc taki, że mniejsze i ciasno

zgrupowane konfiguracje cząsteczek mają niższą entropię, podczas gdy większe i równomiernie rozprzestrzenione konfiguracje mają entropię wyższą.

Teraz temperatura. Co rozumiemy przez temperaturę na poziomie cząsteczkowym? Odpowiedź jest dobrze znana. Temperatura jest średnią prędkością zbioru cząsteczek[26]. Ciało jest zimne, gdy średnia prędkość jego cząsteczek jest niska, a gorące, gdy ich średnia prędkość jest wysoka. Zatem ustalenie, jak temperatura wpływa na entropię, jest równoznaczne z ustaleniem, jak średnia prędkość cząsteczek wpływa na entropię. I podobnie jak w przypadku położeń cząsteczek, ocena jakościowa jest w zasięgu ręki. Jeśli temperatura pary jest niska, dopuszczalne zmiany prędkości cząsteczek będą stosunkowo nieliczne: aby utrzymać stałą temperaturę – a zatem aby wszystkie konfiguracje wyglądały tak samo – należy zrównoważyć wzrost prędkości niektórych cząsteczek przez odpowiednie zmniejszenie prędkości innych. W przypadku niskiej temperatury (niskiej średniej prędkości cząsteczek) nie ma wielu możliwości zmniejszenia prędkości, istnieje bowiem granica absolutna, zero. Wąski jest zakres możliwych prędkości cząsteczek, a więc swoboda zmiany prędkości jest ograniczona. Dla porównania jeśli temperatura jest wysoka, gra w przetasowywanie cząsteczek nabiera obrotów: przy wyższej średniej zakres prędkości cząsteczkowych – jedne mają prędkość trochę większą niż średnia, a inne trochę mniejszą – jest znacznie szerszy, co zapewnia większą swobodę w mieszaniu się prędkości przy zachowaniu tej samej średniej. Większa liczba konfiguracji prędkości cząsteczkowych, które wyglądają tak samo, oznacza, że wyższa temperatura wiąże się zazwyczaj z wyższą entropią.

W końcu – ciśnienie. Ciśnienie pary wodnej na skórę lub ściany łazienki wynika z uderzeń strumieni cząsteczek H_2O w te powierzchnie: każde uderzenie wywiera niewielki nacisk, a więc im większa liczba cząsteczek, tym ciśnienie jest większe. W danej temperaturze i objętości jest ono więc związane z liczbą cząsteczek pary w twojej łazience, liczbą, której wpływ na entropię łatwo można określić. Mniej cząsteczek H_2O (po wzięciu krótszego prysznica)

oznacza, że istnieje mniej możliwych ich ustawień, a więc entropia jest niższa; więcej cząsteczek H_2O (dłuższy prysznic) oznacza, że jest więcej możliwych ustawień, a więc entropia jest wyższa.

Podsumowując: mniejsza liczba cząsteczek albo niższa temperatura, albo wypełnienie mniejszej objętości to niższa entropia. Większa liczba cząsteczek albo wyższa temperatura, albo większa objętość to wyższa entropia.

Z tego krótkiego przeglądu wyróżnię tylko jedno podejście do entropii, pozbawione co prawda precyzji, ale niezwykle użyteczne. Należy oczekiwać stanów o wysokiej entropii, ponieważ w takich stanach znajduje się wiele różnych układów cząsteczek. Te stany są typowe, pospolite, zwyczajne, łatwo konfigurowalne. Natomiast jeśli natkniesz się na stan o niskiej entropii, to z pewnością zwróci on twoją uwagę. Niska entropia oznacza, że jest znacznie mniej sposobów, aby dany makrostan mógł być realizowany przez jego mikroskopowe składowe. A więc takie konfiguracje są trudno osiągalne, są nietypowe, są starannie ułożone i co najważniejsze, są rzadkie. Gdy bierzesz gorący prysznic przez długi czas, to ujrzysz parę wodną równomiernie rozprowadzoną po całej łazience: to wysoka entropia i to jest to, czego możesz się spodziewać. Gdy zaś bierzesz gorący prysznic przez długi czas i ujrzysz parę wodną skupioną w idealnym sześcianie wiszącym przed lustrem, to jest to niska entropia i coś niezwykle rzadkiego. W istocie jest to tak niezwykle rzadkie zdarzenie, że jeśli ujrzysz taką konfigurację, to musisz zachować głęboki sceptycyzm wobec wyjaśnienia, że trafiła ci się oto jedna z tych mało prawdopodobnych rzeczy, które czasami się zdarzają. Takie *mogłoby być* wyjaśnienie. Założę się jednak o własne życie, że tak nie jest. Tak jak gdy sto monet leży na stole reszkami do góry (bo na przykład ktoś odpowiednio wszystkie poprzewracał), musisz szukać wyjaśnienia nie w zdarzeniu losowym dla napotkanych konfiguracji o niskiej entropii.

Rozumowanie to dotyczy nawet tak pozornie prozaicznych obiektów jak jajko, mrowisko czy kubek. Regularne, wytworzone konfiguracje o niskiej entropii wymagają wyjaśnienia. Na przykład wyjaśnienie, że na skutek losowego ruchu właściwie dobranych

cząsteczek może po prostu powstać jajko, mrowisko lub kubek, może być prawdziwe, ale jest bardzo nieprzekonujące. To motywuje nas do poszukiwania bardziej przekonujących wyjaśnień i oczywiście nie musimy daleko szukać: jajko, mrowisko i kubek zostają wytworzone przez poszczególne formy żywe organizujące skądinąd losowe konfiguracje cząsteczek w uporządkowane struktury. Pytanie, jak życie wytwarza tak znakomity porządek, omówimy w kolejnych rozdziałach. Na razie wniosek jest taki, że konfiguracje o niskiej entropii powinny być postrzegane jako wskazówka, że za porządek, z którym się spotykamy, mogą być odpowiedzialne potężne organizujące oddziaływania.

Pod koniec XIX wieku austriacki fizyk Ludwig Boltzmann, uzbrojony w powyższe idee, z których wiele było jego autorstwa, doszedł do przekonania, że może zająć się zagadnieniem, od jakiego zaczęliśmy: Co odróżnia przyszłość od przeszłości? Jego wnioski były oparte na własnościach entropii zawartych w drugim prawie termodynamiki.

Prawa termodynamiki

Podczas gdy entropia i drugie prawo cieszą się wieloma odniesieniami w kulturze, publiczne zainteresowanie pierwszym prawem termodynamiki jest mniej powszechne. Jednak aby w pełni zrozumieć drugie prawo termodynamiki, dobrze jest najpierw pojąć prawo pierwsze. Jak się okazuje, pierwsze prawo też jest powszechnie znane, lecz pod inną nazwą. To prawo zachowania energii. Suma energii użytej na początku procesu pozostaje niezmieniona na jego końcu. Trzeba być drobiazgowym, obliczając bilans energii, i włączyć doń wszystkie jej formy, w które początkowy zasób energii mógł się przekształcić, na przykład energię kinetyczną (energia ruchu) lub energię potencjalną (energia zmagazynowana, jak w rozciągniętej sprężynie) bądź promieniowanie (energia przenoszona przez pola, takie jak pola elektromagnetyczne lub grawitacyjne) lub ciepło (chaotyczny ruch cząsteczek i atomów). Jeśli prześledzi się to uważnie, to pierwsze prawo termodynamiki zapewni poprawny bilans energetyczny[27].

Drugie prawo termodynamiki koncentruje się na entropii. W przeciwieństwie do pierwszego prawa drugie nie jest prawem zachowania. Jest to prawo wzrostu. Drugie prawo stwierdza, że w miarę upływu czasu pojawia się tendencja do wzrostu entropii. Mówiąc potocznie, specjalne konfiguracje mają tendencję do ewolucji w kierunku konfiguracji zwykłych (twoja starannie wyprasowana koszula w miarę upływu czasu staje się pognieciona) albo porządek ma tendencję do przechodzenia w nieporządek (w twoim posprzątanym garażu w miarę upływu czasu narzędzia zostają chaotycznie porozkładane, pojemniki i sprzęt sportowy porozrzucane). Podczas gdy ten obraz stanowi precyzyjne, intuicyjne wyobrażenie, statystyczny obraz entropii sformułowany przez Boltzmanna pozwala nam precyzyjnie wyrazić drugie prawo i, co równie ważne, uzyskać jasność, dlaczego jest ono prawdziwe.

Wszystko sprowadza się do liczb. Zastanówmy się jeszcze raz nad monetami. Jeśli starannie ułożysz monety, tak aby wszystkie leżały orłami do góry, czyli by była to konfiguracja o niskiej entropii, a następnie trochę nimi potrzęsiesz, to będziesz się spodziewać, że co najmniej kilka z nich przewróci się reszkami do góry, czyli powstanie konfiguracja o wyższej entropii. Jeśli będziesz dalej nimi potrząsać, to jest możliwe, że powrócisz do poprzedniej konfiguracji z wszystkimi orłami w górę, ale to wymaga odpowiedniego potrząsania, aby odwrócić tylko te monety, które leżały reszkami do góry. To bardzo mało prawdopodobne. Najbardziej prawdopodobne jest to, że w wyniku potrząsania pojawi się losowa konfiguracja. Niektóre z tych kilku monet, które leżały reszkami w górę, może się odwrócić orłami w górę, ale z tych, które leżały orłami w górę, wiele odwróci się reszkami do góry. Ta prosta logika – żadna fantazyjna matematyka ani zbyt abstrakcyjne idee – ujawnia, że jeśli zaczniesz od konfiguracji wszystkich monet ułożonych orłami w górę, to losowe potrząsanie nimi będzie prowadzić do zwiększania liczby reszek. Czyli do wzrostu entropii.

Wzrost liczby reszek będzie postępować aż do momentu, w którym osiągniemy mniej więcej połowę orłów na połowę reszek. W tym momencie potrząsanie monetami będzie miało tendencję do odwracania tylu samych orłów na reszki co reszek na orły, a więc

monety będą przez większość czasu elementami najbardziej licznych grup, grup o najwyższej entropii.

To, co jest prawdziwe dla monet, jest też prawdziwe w bardziej ogólnym sensie. Gdy pieczecie chleb, to możecie być pewni, że aromat wkrótce wypełni pomieszczenia położone z dala od kuchni. Na początku cząsteczki uwalniane podczas pieczenia chleba skupiają się w pobliżu pieca, ale będą się stopniowo rozpraszać. Powodem, podobnym jak w zjawisku z monetami, jest to, że istnieje o wiele więcej sposobów rozprzestrzeniania się cząsteczek aromatycznych w stosunku do sposobów ich skupiania się w grupę. Jest więc o wiele bardziej prawdopodobne, że przez przypadkowe zderzenia cząsteczki będą się rozchodzić na zewnątrz, niż skupiać się w gromadę. Konfiguracja cząsteczek o niskiej entropii skupionych w pobliżu pieca w naturalny sposób ewoluuje w kierunku stanu o wyższej entropii, w którym są one rozprzestrzenione po całym domu[28].

Mówiąc bardziej ogólnie, jeśli system fizyczny nie znajduje się jeszcze w stanie o najwyższej dostępnej mu entropii, to najprawdopodobniej będzie ewoluował w tym kierunku. Wyjaśnienie, dobrze zilustrowane aromatem pieczonego chleba, opiera się na najbardziej podstawowym rozumowaniu: ponieważ liczba konfiguracji z wysoką entropią jest znacznie większa niż konfiguracji z mniejszą entropią (z samej definicji entropii), to są znacznie większe szanse, że losowe zderzenia – nieustanne zderzenia i drgania atomów i molekuł – zwiększą entropię układu, niż że ją zmniejszą. Ewolucja układu będzie trwała do momentu osiągnięcia takiej jego konfiguracji, która ma najwyższą dostępną entropię. Od tego momentu wszelkie zderzenia będą powodować, że składniki układu zaczną migrować pomiędzy (typowo) ogromną liczbą konfiguracji o najwyższej dostępnej entropii[29].

Takie jest drugie prawo termodynamiki. I właśnie dlatego jest ono prawdziwe.

Energia i entropia

Na podstawie tego omówienia moglibyście odnieść wrażenie, że pierwsze i drugie prawo są całkowicie odrębne. W końcu jedno z nich koncentruje się na energii i jej zachowaniu, drugie na entropii i jej wzroście. Istnieje jednak między nimi głęboki związek, uwydatniający fakt ukryty w drugim prawie, do którego będziemy wielokrotnie powracać: wytwarzana energia nie jest sobie równa.

Na przykład rozważmy laskę dynamitu. Ponieważ cała energia zmagazynowana w dynamicie zawiera się w zwartym, uporządkowanym chemicznym pakiecie, energię tę łatwo wykorzystać. Trzeba tylko umieść dynamit w odpowiednim miejscu, gdzie zgromadzona w nim energia ma być wykorzystana, i uruchomić zapalnik. To wszystko. Po wybuchu cała energia dynamitu nadal istnieje. Tak wygląda pierwsze prawo w akcji. Ponieważ energia dynamitu została przekształcona w gwałtowny i chaotyczny ruch szeroko rozproszonych cząstek, jej wykorzystanie jest teraz niezwykle trudne. Zatem chociaż całkowita ilość energii nie uległa zmianie, to zmianie uległ jej charakter.

Przed wybuchem mówimy, że energia dynamitu jest wysokiej jakości: jest skoncentrowana i łatwo dostępna. Po wybuchu ta energia ma niską jakość: jest rozproszona i trudno ją wykorzystać. A ponieważ do wybuchającego dynamitu stosuje się drugie prawo, przechodzenie od porządku do nieporządku – od niskiej entropii do wysokiej – niską entropię kojarzymy z energią o wysokiej jakości, a wysoką – z energią o niskiej jakości. Tak, wiem. Dużo tu wzrostów i spadków, które trzeba śledzić. Jednak wniosek jest zwięzły: podczas gdy pierwsze prawo termodynamiki mówi, że energia jest zachowywana w czasie, drugie prawo mówi, że jakość tej energii pogarsza się z czasem.

Dlaczego więc przyszłość różni się od przeszłości? Odpowiedź, widoczna na podstawie tego, co omawialiśmy, jest taka, że energia napędzająca przyszłość jest niższej jakości niż ta, która napędzała przeszłość. Przyszłość ma wyższą entropię niż przeszłość.

A przynajmniej taka właśnie była propozycja Boltzmanna.

Boltzmann i Wielki Wybuch

Boltzmann na pewno był na tropie czegoś, ale prawdę mówiąc, nawet jemu zajęło trochę czasu docenienie subtelnego wyjaśnienia drugiej zasady termodynamiki i jej implikacji.

Drugie prawo nie jest prawem w tradycyjnym sensie tego słowa. *Nie* wyklucza ono całkowicie, że entropia nie może się zmniejszać. Stwierdza jedynie, że takie obniżanie entropii jest mało prawdopodobne. W odniesieniu do monet ustaliliśmy to ilościowo. W porównaniu z jedną jedyną konfiguracją ze wszystkimi orłami w górę 100 miliardów miliardów miliardów razy bardziej prawdopodobne jest to, że losowe rozrzucenie monet da konfigurację z 50 orłami i 50 reszkami. Po ponownym rozrzuceniu takiej konfiguracji o wysokiej entropii możliwe jest uzyskanie konfiguracji o niższej entropii, takiej jak: „wszystkie orły w górę", ale ze względu na niewielkie szanse jej wystąpienia w praktyce tak się nie stanie.

W układach fizycznych składających się z ponad 100 podukładów, jakie napotykamy co dzień, szanse na zmniejszenie entropii stają się tym bardziej małe. Gdy pieczemy chleb, uwalniane są miliardy miliardów cząsteczek zapachowych. Konfiguracje, w których te cząsteczki rozprzestrzeniają się po całym domu, są znacznie liczniejsze niż te, w których kolektywnie powracają one do pieca. Dzięki przypadkowemu zderzaniu cząsteczki *mogłyby* odtworzyć swoje trajektorie, odnaleźć drogę powrotną do bochenka, całkowicie cofnąć proces pieczenia i pozostawić ci zimne, surowe ciasto. Jednak szanse na to, że tak się stanie, są bliższe zera niż prawdopodobieństwo tego, że rozpryskując farbę na płótnie, uzyskamy kopię *Mony Lisy*. I tak chodzi o to, że gdyby doszło do takiego odwróconego procesu ewolucji entropii, nie naruszyłoby to praw fizyki. Choć jest to spektakularnie mało prawdopodobne, to prawa fizyki zezwalają, by entropia ulegała zmniejszeniu.

Nie zrozumcie mnie źle. Nie wspominam o tym, by sugerować, że pewnego dnia upieczony chleb stanie się mąką albo rozbity wrak – samochodem, a spalony dokument się odtworzy. Natomiast chcę podkreślić pewien istotny aspekt praw. Wcześniej wyjaśniałem, że prawa fizyki na równi traktują przyszłość i przeszłość. Prawa zapewniają, że procesy fizyczne, które ewoluują w jednym kierunku

upływu czasu, mogą też ewoluować w kierunku odwrotnym. A ponieważ te same prawa rządzą wszystkim, łącznie z procesami fizycznymi odpowiedzialnymi za zmiany entropii w czasie, byłoby to naprawdę dziwne, wręcz błędne, gdyby pozwalały jedynie na wzrost entropii. A tak nie jest. Wszystkie procesy zwiększające entropię, których doświadczasz każdego dnia przez całe życie – od prozaicznego stłuczenia szkła do ciągłego starzenia się ciała – mogłyby zachodzić w odwrotnym kierunku. Entropia może się zmniejszać. Takie procesy są jednak absurdalnie mało prawdopodobne.

A więc dokąd to prowadzi nasze poszukiwanie wyjaśnienia, dlaczego przyszłość jest inna niż przeszłość? Cóż, z uwagi na dzisiejszą konfigurację o entropii mniejszej niż maksymalna drugie prawo wskazuje, że przyszłość z dużym prawdopodobieństwem będzie inna, ponieważ entropia najprawdopodobniej będzie wzrastać. Konfiguracje materii, które mają entropię mniejszą niż maksymalna, gryzą wędzidło, aby tylko przejść do takiej o wyższej entropii. I czyniąc takie spostrzeżenie, niektórzy badający różnicę między przeszłością i przyszłością spoczywają na laurach, myśląc, że na tym ich praca się kończy.

Praca wszak nie jest ukończona. Równie ważne jest wyjaśnienie, jak to jest, że znajdujemy się dzisiaj w tak szczególnym, mało prawdopodobnym, zaskakującym stanie, w którym entropia jest mniejsza niż maksymalna – Wszechświat wypełniają uporządkowane struktury, od planet i gwiazd do pawi i ludzi. Gdyby tak nie było, gdyby dzisiejsza konfiguracja była tym oczekiwanym, zwykłym, niezaskakującym stanem o maksymalnej entropii, to są duże szanse na to, że Wszechświat wciąż by się znajdował w takim stanie, mając przyszłość nieróżniącą się od przeszłości. Niczym worek monet zawierający ogromną liczbę konfiguracji z mniej więcej 50 orłami i 50 reszkami Wszechświat bezustannie błąkałby się po ogromnym krajobrazie swoich konfiguracji o najwyższej entropii – ogromnie rozproszonych cząsteczek poruszających się w przestrzeni, takiej kosmicznej wersji jednolicie wypełnionej parą łazienki[30]. Obecny stan o entropii mniejszej niż maksymalna jest, na szczęście dla nas, o wiele bardziej interesujący. Daje możliwość łączenia się cząsteczek

w struktury i powstawania makroskopowych zmian. I tak oto nasuwa się pytanie: Jak powstał obecny stan o entropii mniejszej niż maksymalna?

Sumiennie trzymając się drugiego prawa, dochodzimy do wniosku, że obecny stan wywodzi się ze stanu wczorajszego o jeszcze niższej entropii. A stan ten, jak sądzimy, wywodzi się ze stanu o jeszcze niższej entropii z przedwczoraj i tak dalej, przynosząc szlak coraz bardziej zmniejszającej się entropii i tak dalej, co prowadzi nas w czasie wstecz, aż dojdziemy w końcu do Wielkiego Wybuchu. Wysoce uporządkowany, cechujący się niezwykle niską entropią punkt początkowy Wielkiego Wybuchu jest tym powodem, dla którego dzisiejszy Wszechświat nie osiągnął jeszcze maksymalnej entropii, co wskazuje na możliwość obfitującej w wydarzenia przyszłości, która będzie różnić się od przeszłości.

Czy możemy przejść dalej i wyjaśnić, dlaczego początek Wszechświata był tak uporządkowany? Wrócimy do tego pytania w następnym rozdziale, w którym zbadamy teorie kosmologiczne. Na razie zauważamy, że nasze przetrwanie wymaga uporządkowania, od wewnętrznej struktury cząsteczkowej podtrzymującej bogactwo funkcji życiowych do źródeł pożywienia, które dostarczają nam energii wysokiej jakości, do wytwarzanych narzędzi i siedlisk, które są niezbędne dla dalszej egzystencji. Bez środowiska wypełnionego strukturami o niskiej entropii nie byłoby nas tutaj, aby to zauważyć.

Ciepło i entropia

Zacząłem ten rozdział od Bertranda Russella ubolewającego nad Wszechświatem, który podlega nieustannemu upadkowi. Teraz dostrzegamy, co inspirowało jego mroczną przepowiednię – to drugie prawo termodynamiki i deklarowany przez nie wzrost entropii. Pomyślcie o wzrastającej entropii jak o narastającym nieporządku i już wiecie, o co chodzi. Aby jednak w pełni ocenić przyszłe wyzwania, przed którymi staną życie, umysł i materia – ten temat będziemy obszernie badać w kolejnych rozdziałach – musimy ustalić związek między nowoczesnym opisem drugiego prawa

termodynamiki a pierwotnym jego sformułowaniem z połowy XVIII wieku. W tej wcześniejszej wersji drugie prawo skodyfikowało to, co było oczywiste dla każdego, kto miał do czynienia z silnikami parowymi: proces spalania paliwa wprawiający w ruch maszynę zawsze wytwarza ciepło i prowadzi do strat będących degradacją. Jednakże ponieważ wcześniejsza wersja nie wspominała o konfiguracjach cząstek i nie wykorzystywała rozumowania probabilistycznego, może się wydawać, że jest ona bardzo odległa od statystycznego sformułowania mówiącego o wzroście entropii. Istnieje głęboki i bezpośredni związek między tymi dwoma sformułowaniami, który ujawnia, dlaczego przemiana energii o wysokiej jakości w ciepło o niskiej jakości, jaka zachodzi w maszynie parowej, jest przykładem wszechobecnej degradacji zachodzącej w całym kosmosie.

Wyjaśnię ten związek dwustopniowo. Najpierw spojrzymy na związek między entropią i ciepłem. Potem, w następnej części, połączymy ciepło ze statystycznym sformułowaniem drugiego prawa.

Chwytając za gorący uchwyt patelni, czujemy, jak ciepło płynie w kierunku do ręki. Czy coś naprawdę płynie? Był taki czas dawno temu, gdy uczeni uważali, że na to pytanie odpowiedź jest pozytywna. Wyobrażali sobie płynną substancję, zwaną „cieplikiem", która przepływa z miejsc gorętszych do chłodniejszych, tak jak rzeka płynąca z gór na niziny. Z czasem bardziej dogłębne zrozumienie składników materii pozwoliło sporządzić inny opis. Kiedy chwytamy patelnię, jej szybciej poruszające się cząsteczki zderzają się z wolniej poruszającymi się cząsteczkami naszej dłoni, powodując wzrost średniej prędkości cząsteczek dłoni i spadek średniej prędkości cząsteczek uchwytu patelni. Zwiększoną prędkość cząsteczek dłoni odczuwamy jako ciepło; temperatura ręki wzrosła. A zmniejszona prędkość cząsteczek uchwytu oznacza, że jego temperatura spadła. To, co płynie, nie jest więc substancją. Cząsteczki uchwytu pozostają w nim, a te w dłoni pozostają w dłoni. Natomiast, podobnie do informacji przepływającej od jednej osoby do drugiej w grze zwanej głuchym telefonem, wzbudzenie cząsteczek przepływa od cząsteczek w uchwycie do tych w dłoni. A więc podczas gdy sama materia nie

przepływa z uchwytu do ręki, to własność materii – średnia prędkość cząsteczek – już tak. To właśnie rozumiemy przez przepływ ciepła.

To samo odnosi się do entropii. Wraz ze wzrostem temperatury dłoni jej cząsteczki zderzają się coraz szybciej, a zakres ich możliwych prędkości zwiększa liczbę możliwych do osiągnięcia konfiguracji, które wyglądają prawie tak samo, a więc wzrasta również entropia ręki. Odpowiednio, wraz ze spadkiem temperatury uchwytu, jego cząsteczki poruszają się wolniej, a zakres ich możliwych prędkości zmniejsza liczbę możliwych do osiągnięcia konfiguracji, które wyglądają tak samo, a tym samym zmniejsza się entropia uchwytu.

Hola. Entropia się *zmniejsza*?

Tak, ale to nie ma nic wspólnego ze statystycznie rzadkimi szczęśliwymi trafami, takimi, jakie opisano w poprzedniej części, gdy wszystkie wyrzucone z worka monety ułożą się na stole orłami do góry. Entropia gorącego uchwytu zmniejsza się za każdym razem, gdy go dotkniesz. Prostym, ale istotnym wnioskiem, który ilustruje patelnia, jest to, że *dictum* drugiego prawa termodynamiki dotyczące wzrostu entropii ma zastosowanie do całkowitej entropii układu fizycznego i wszystkiego, z czym układ ten oddziałuje. Ponieważ ręka oddziałuje z uchwytem patelni, nie możesz zastosować drugiego prawa wyłącznie do uchwytu. Musisz brać pod uwagę zarówno uchwyt, jak i rękę (a ściślej całą patelnię, piec, otaczające powietrze i tak dalej). A dokładne obliczenia pokazują, że wzrost entropii ręki przewyższa spadek entropii uchwytu, gwarantując, że całkowita entropia rzeczywiście się zwiększa.

Podobnie jak w odniesieniu do ciepła, istnieje więc przypuszczenie, że entropia może płynąć. W przypadku patelni płynie ona z uchwytu do ręki. Uchwyt staje się nieco bardziej uporządkowany, a ręka nieco mniej uporządkowana. Znowu przepływ nie ma postaci konkretnej substancji, która początkowo znajdowała się w uchwycie, a potem przemieściła do ręki. Przepływ entropii oznacza raczej oddziaływanie między cząsteczkami znajdującymi się w uchwycie i tymi znajdującymi się w dłoni, które wpływa na właściwości każdej z nich. W tym przypadku zmienia ono ich średnie prędkości – ich

odpowiednie temperatury – a to z kolei wpływa na entropię, którą każde z nich ma.

Jak wynika z opisu, przepływ ciepła i przepływ entropii są ściśle powiązane. Pochłanianie ciepła to pochłanianie energii, która jest zawarta w losowym ruchu cząsteczek. Ta energia z kolei powoduje, że odbierające ją cząsteczki poruszają się szybciej lub rozprzestrzeniają się szerzej, przyczyniając się w ten sposób do wzrostu entropii. Wniosek jest więc taki, że aby przenieść entropię z jednego miejsca w drugie, ciepło musi płynąć z jednego miejsca w drugie. A kiedy ciepło przepływa z jednego miejsca w drugie, entropia przepływa z jednego miejsca w drugie. Krótko mówiąc, entropia płynie na fali przepływającego ciepła.

Zrozumiawszy zależność między ciepłem a entropią, wróćmy teraz do drugiego prawa.

Ciepło i druga zasada termodynamiki

Wyjaśnienie, dlaczego doświadczamy zdarzeń, które ewoluują w jednym kierunku, a nie w odwrotnym, doprowadziło nas do Boltzmanna i jego statystycznej interpretacji drugiego prawa termodynamiki: entropia z ogromnym prawdopodobieństwem będzie się zwiększała ku przyszłości, co odwrotne zachowanie (w którym entropia by się zmniejszała) czyni fantastycznie nieprawdopodobnym. Jak to się ma do wcześniejszego sformułowania drugiego prawa, inspirowanego maszyną parową, w kategoriach nieustannego tworzenia się w układach fizycznych strat energii w postaci ciepła?

Związek polega na tym, że dwa punkty wyjściowe – odwracalność i maszyny parowe – są ze sobą ściśle związane. Powodem jest fakt, że maszyna parowa wykonuje proces cykliczny: tłok jest popychany do przodu przez rozprężającą się parę, a następnie powraca do położenia wyjściowego, gdzie oczekuje na następny cykl. Również para wodna powraca do swojej pierwotnej objętości, temperatury i ciśnienia, podobnie jak wszystkie istotne elementy silnika, przygotowujące silnik do ponownego rozgrzania i ponownego

popchnięcia tłoka. Chociaż tutaj nie jest wymagany śmiesznie nieprawdopodobny powrót każdej cząsteczki do tego samego miejsca lub uzyskanie tej samej prędkości, jaką miała na początku poprzedniego cyklu, to jednak konieczne jest, aby ogólny stan układu – makrostan silnika – w celu rozpoczęcia każdego kolejnego cyklu powrócił do tej samej postaci.

Co to oznacza dla entropii? Cóż, ponieważ entropia jest liczbą konfiguracji mikrostanów, które tworzą dany makrostan, a makrostan maszyny parowej powraca do tej samej postaci na początku każdego nowego cyklu, to jego entropia musi również powrócić do swej poprzedniej wartości. Oznacza to, że entropia, którą zyskuje maszyna parowa w danym cyklu (na skutek pochłaniania ciepła ze spalanego paliwa, na skutek wytwarzania ciepła w wyniku tarcia jej ruchomych części itp.), musi być w całości przekazana środowisku w czasie trwania tego cyklu. W jaki sposób osiąga to maszyna parowa? Wiemy już, że aby nastąpił transfer entropii, musi nastąpić transfer ciepła. Aby więc maszyna parowa mogła zresetować swój stan do następnego cyklu, *musi oddać ciepło do środowiska*. Takie jest historyczne sformułowanie drugiego prawa termodynamiki, nieuchronne przekazywanie strat cieplnych do środowiska – czyli ta sama degradacja, która tak martwiła Bertranda Russella – teraz wywiedzione ze statystycznej wersji drugiego prawa termodynamiki[31].

To jest cel, do którego zmierzam, zatem bez skrępowania proszę przejść do następnej części. Jeśli macie cierpliwość, to jest jeden szczegół, o którym muszę wspomnieć. Można się zastanawiać nad tym, że jeśli silnik parowy uzyskuje ciepło ze spalanego paliwa (w ten sposób uzyskując entropię) tylko po to, by wydalić ciepło do otoczenia (w ten sposób wydalając entropię), to skąd ma energię na wykonanie użytecznej pracy, takiej jak napędzanie lokomotywy? Odpowiedź jest taka: silnik parowy wydala mniej ciepła, niż go uzyskuje, a mimo to jest w stanie w pełni wydalić zgromadzoną entropię. Oto jak to się dzieje.

Maszyna parowa absorbuje ciepło i entropię ze spalanego paliwa i uwalnia ciepło i entropię do chłodniejszego otoczenia. To, co tu jest najbardziej istotne, to różnica temperatur. Aby zrozumieć dlaczego,

wyobraźmy sobie włączenie dwóch identycznych grzejników, jednego w pomieszczeniu, które jest zimne, i drugiego w pomieszczeniu, które jest gorące. W pomieszczeniu, w którym panuje mróz, zimne cząsteczki powietrza są wzbudzane przez grzejnik, co powoduje, że poruszają się szybciej i rozprzestrzeniają szeroko, a więc ich entropia znacznie wzrasta. W gorącym pomieszczeniu cząsteczki powietrza poruszają się już szybko i są szeroko rozprzestrzenione, a zatem grzejnik tylko nieznacznie zwiększa ich entropię. (To tak jakby podkręcać rytm na dzikiej imprezie noworocznej i ledwo zauważyć, że uczestnicy tańczą trochę szybciej, ale podkręćcie rytm w klasztorze Thikse, aby skusić mnichów do przerwania medytacji i rozpoczęcia krumpingu, a łatwo zobaczycie różnicę). Mimo że oba grzejniki są identyczne, entropia, którą przenoszą do otoczenia, jest inna: podczas gdy każdy z nich wytwarza tyle samo ciepła, grzejnik w chłodniejszym otoczeniu przenosi więcej entropii. Ta sama ilość ciepła w chłodniejszym środowisku powoduje większy wzrost entropii. Dzięki zrozumieniu tego faktu widzimy, że silnik parowy może pozbyć się całej entropii, którą otrzymał z ciepła pochodzącego ze spalania paliwa, wydalając tylko jego część do chłodniejszego otoczenia. Pozostała część ciepła jest wykorzystana do rozprężania pary, popychania tłoka i wykonywania pracy użytecznej.

Takie jest wytłumaczenie, ale niech szczegóły nie przesłonią zasadniczego wniosku: wraz z upływem czasu układy fizyczne z ogromnym prawdopodobieństwem będą ewoluować od konfiguracji o niższej entropii do konfiguracji o wyższej entropii. Jeśli układ, podobnie jak maszyna parowa, stara się zachować swoją integralność strukturalną, musi zrezygnować z naturalnego dążenia ku zwiększania entropii przez wydalanie wytworzonej przez siebie entropii do otoczenia. W tym celu silnik musi odprowadzać straty cieplne do środowiska.

Dwuetapowość entropii

Jeśli uważnie prześledzisz ten tok myślenia, przekonasz się, że choć silnik parowy był już wielokrotnie omawiany, nasze wnioski dotyczą

zagadnień bardziej ogólnych niż ten osiemnastowieczny punkt wyjścia. Istotą naszych rozważań jest ścisłe omówienie entropii, które może dotyczyć każdego kontekstu. To kluczowy wniosek, ponieważ transfer entropii z silnika parowego do otoczenia dzięki stratom ciepła jest tylko jedną z wersji wszechobecnego procesu, który napotykamy, śledząc ewolucję kosmosu. Nazywam to *dwuetapowością entropii*, przez co rozumiem każdy proces, w którym zmniejsza się entropia układu, ponieważ wydala on do środowiska więcej niż nadwyżkę wzrostu entropii. Dwuetapowość sprawia, że nawet jeśli entropia może się zmniejszyć tutaj, to tam się zwiększy, co sprawia, że *per saldo* następuje ogólny jej wzrost zgodnie z drugim prawem termodynamiki.

Dwuetapowość entropii leży u podstaw tego, że Wszechświat zmierzający ku coraz większemu nieporządkowi może mimo wszystko mieć uporządkowane struktury, takie jak gwiazdy, planety i ludzie. Wielokrotnie będziemy spotykać się z takim zjawiskiem: gdy pojawia się przepływ energii przez układ – na przykład energia ze spalania węgla przepływająca do pary i wykonująca pracę, a następnie wydalana do otaczającego środowiska – to unosi on ze sobą entropię i w ten sposób może podtrzymywać lub nawet tworzyć porządek.

To właśnie jest ten taniec entropii, który będzie tworzył choreografię powstawania życia i umysłu, a także większości tego, co umysły uznają za istotne.

Jesteś maszyną parową

Mając na uwadze, jak ważny jest powrót entropii do wartości początkowej za każdym razem, gdy maszyna parowa wykonuje cykl, można się zastanawiać, co by się stało, gdyby entropia nie wróciła do wartości początkowej. Jest to równoznaczne z tym, że maszyna parowa nie ma strat cieplnych, a więc z każdym cyklem silnik coraz bardziej się nagrzewa, aż do przegrzania i awarii. Gdyby taki los spotkał maszynę parową, byłaby to pewna niedogodność, ale jeśli nie doszłoby do ofiar ludzkich, to z pewnością nie doprowadziłoby to

nikogo do kryzysu egzystencjalnego. A jednak ta sama fizyka decyduje o tym, czy życie i umysł przetrwają w bardzo odległej przyszłości. Przyczyna jest taka, że to, co dotyczy maszyny parowej, dotyczy także nas.

Prawdopodobnie nie uważasz się za maszynę parową ani nawet za układ fizyczny. Ja również rzadko używam tych pojęć na określenie siebie samego. Jednak pomyślcie tylko: na wasze życie składają się procesy nie mniej cykliczne niż cykle maszyny parowej. Dzień po dniu twoje ciało spala jedzenie, które spożywasz, i powietrze, którym oddychasz, aby dostarczyć energię dla wykonania pracy przez twoje organy wewnętrzne i dla twojej zewnętrznej aktywności. Nawet sam akt myślenia – ruch cząsteczek zachodzący w twoim mózgu – jest zasilany przez te procesy przemiany energii. Podobnie więc jak w przypadku maszyny parowej, nie możesz przeżyć bez przywrócenia entropii do stanu wejściowego przez utratę nadmiaru ciepła do środowiska. W istocie właśnie to robisz. Wszyscy to robimy. Cały czas. To dlatego na przykład wojskowe noktowizory na podczerwień pozwalają żołnierzom wykryć nieprzyjaciela w nocy, bo zaprojektowano je tak, aby „widzieć" ciepło, które wszyscy nieustannie wydzielamy.

Możemy teraz docenić nastawienie Russella, gdy wyobrażał sobie daleką przyszłość. Wszyscy toczymy niestrudzoną walkę z akumulacją strat energii i niepowstrzymanym wzrostem entropii. Abyśmy mogli przetrwać, środowisko musi wchłonąć i odprowadzić wszystkie straty, całą entropię, którą wytwarzamy. W związku z tym nasuwa się pytanie, czy środowisko – przez które rozumiemy teraz obserwowalny Wszechświat – zapewnia nam rezerwuar bez dna dla takich odpadów? Czy życie może w nieskończoność stosować się do dwuetapowości entropii? Czy też może nadejść czas, w którym Wszechświat zostanie zapchany i nie będzie w stanie dalej wchłaniać ciepła wytwarzanego przez te działania, które nas definiują, kończąc życie i umysł? Czy prawdą we łzawym wyznaniu Russella jest to, że „cały trud na przestrzeni wieków, całe poświęcenie i natchnienie, cały blask ludzkiego geniuszu są skazane na zagładę w wielkiej śmierci Układu Słonecznego i cały gmach ludzkich osiągnięć musi nieuchronnie lec w ruinach Wszechświata"[32]?

Są to jedne z głównych zagadnień, którymi będziemy się zajmować w kolejnych rozdziałach. Wyprzedziliśmy teraz nieco bieg zdarzeń. Zanim zaczniemy omawiać życie i rozum, musimy pojąć, jak entropia i drugie prawo termodynamiki uczestniczą w tworzeniu środowisk podtrzymujących życie i umysł.

W tym celu trzeba powrócić do Wielkiego Wybuchu.

16 Transmisja w Trzecim Programie BBC, 28 stycznia 1948 roku, o godz. 21.45, dotyczyła debaty, która odbyła się w roku poprzednim, https://genome.ch.bbc.co.uk/35b8e9bdcf60458c976b882d80d9937f.

17 Bertrand Russell, *Dlaczego nie jestem chrześcijaninem?*, przeł. A. Kurlandzka, Książka i Wiedza, Warszawa 1959.

18 Jest to oczywiście bardzo uproszczony opis silnika parowego, wzorowany na tzw. cyklu Carnota, który obejmuje cztery kroki: (1) Para wodna w kanistrze pochłania ciepło ze źródła (ogólnie opisanego jako zbiornik ciepła), gdy napiera na tłok, wykonując pracę w stałej temperaturze. (2) Kanister zostaje odłączony od źródła ciepła, kontynuuje pchanie tłoka, wykonując teraz pracę w miarę spadku temperatury pary (ale jej entropia jest stała, ponieważ nie ma przepływu ciepła). (3) Następnie kanister jest podłączany do drugiego zbiornika ciepła, w niższej temperaturze niż pierwszy, a praca wykonywana jest w tej stałej niższej temperaturze w celu przesunięcia tłoka z powrotem do jego pierwotnego położenia i oddania w ten sposób ciepła odpadowego. (4) Na koniec kanister jest odłączany od zbiornika chłodnicy (a praca jest kontynuowana na tłoku) i wraca do pozycji wyjściowej, ponieważ temperatura pary wodnej jest również podnoszona do wartości wyjściowej. Następnie cykl rozpoczyna się ponownie. W rzeczywistej maszynie parowej – w przeciwieństwie do teoretycznej – analizujemy matematycznie te kroki, lub porównywalne, realizowane na różne sposoby zależnie od konkretnych rozwiązań inżynieryjnych i praktycznych.

19 Sadi Carnot, *Reflections on the Motive Power of Fire*, Dover Publications, Inc., Mineola, NY 1960.

20 Modelowanie piłki bejsbolowej jako pojedynczej masywnej cząstki bez wewnętrznej struktury jest rażącym przybliżeniem. Jednakże zastosowanie praw Newtona do tego przybliżonego modelu daje dokładny klasyczny ruch środka masy piłki. W odniesieniu do ruchu środka masy trzecie prawo Newtona gwarantuje, że wszystkie siły wewnętrzne znoszą się nawzajem, a więc ruch środka masy zależy wyłącznie od przyłożonych sił zewnętrznych.

21 W jednym z badań (B. Hansen, N. Mygind, *Jak często normalni ludzie kichają i dmuchają w nos?*, „Renologia” 2002, nr 40 [1], s. 10–12) stwierdzono, że ludzie

kichają średnio mniej więcej raz dziennie. Ponieważ na Ziemi jest około 7 miliardów ludzi, daje to 7 miliardów kichnięć na całym świecie dziennie. Ponieważ dzień na Ziemi trwa około 86 tysięcy sekund, na całym świecie dochodzi do około 80 tysięcy kichnięć na sekundę.

22 Podany przeze mnie opis jest dobry jako szerokie podsumowanie, ale istnieją bardziej egzotyczne układy fizyczne, w których, aby zapewnić, by sekwencje odwrotnego biegu były dozwolone przez prawa fizyki, musimy poddać ten układ dwóm innym manipulacjom poza odwróceniem czasu: musimy również odwrócić ładunki wszystkich cząstek (tzw. odbicie ładunkowe lub parzystość ładunkowa), a także odwrócić lewoskrętność i prawoskrętność (tzw. odwrócenie parzystości przestrzennej). Prawa fizyki, w obecnym rozumieniu, muszą być niezmienne względem wszystkich trzech z tych odwróceń, co jest znane jako twierdzenie CPT (z C oznaczającym parzystość ładunkową, P oznaczającym odwrócenie parzystości przestrzennej i T oznaczającym odwrócenie czasu).

23 Dla dwóch reszek obliczenie daje (100 × 99)/2 = 4950; dla trzech (100 × 99 × 98)/3! = 161 700; dla czterech (100 × 99 × 98 × 97)/4! = 3 921 225; dla pięciu (100 × 99 × 98 × 97 × 96)/5! = 75 287 520; dla 50 (100!/(50!)2) = 100 891 344 545 564 193 334 812 497 256.

24 Ściślej mówiąc, entropia jest *logarytmem* z liczby elementów danej grupy, istotnym rozróżnieniem matematycznym zapewniającym, że entropia ma sensowne właściwości fizyczne (na przykład gdy dwa układy łączą się, ich entropie się dodają), ale takim, który w naszej dyskusji możemy bezpiecznie zignorować. W pewnych częściach rozdziału 10 będziemy domyślnie używać bardziej precyzyjnej definicji, ale na razie ta nam wystarcza.

25 W tym przykładzie w celu uproszczenia weźmiemy pod uwagę tylko molekuły pary H_2O, które unoszą się w łazience. Ignorujemy rolę powietrza i wszelkich innych substancji, które są obecne. Ignorujemy również wewnętrzną strukturę cząsteczek wody i traktujemy je jako cząsteczki punktowe. Kiedy mówimy o temperaturze pary, pamiętajmy, że woda w stanie ciekłym przechodzi w parę o temperaturze 100°C, ale temperatura pary może być jeszcze wyższa.

26 Z fizycznego punktu widzenia temperatura jest proporcjonalna do średniej energii kinetycznej cząstek, a więc matematycznie oblicza się ją przez uśrednienie kwadratu prędkości każdej z cząstek. Dla naszych celów traktowanie temperatury w kategoriach prędkości średniej – zależności od prędkości – jest całkiem wystarczające.

27 Ściślej, pierwsze prawo termodynamiki jest wersją prawa zachowania energii, które (i) uznaje ciepło za formę energii oraz (ii) uwzględnia pracę wykonaną przez dany układ lub na nim. Zachowanie energii oznacza więc, że zmiana energii

wewnętrznej układu wynika z różnicy między ciepłem netto, które on absorbuje, a pracą netto, którą wykonuje. Czytelnik zaznajomiony z tymi zagadnieniami może zauważyć, że gdy weźmiemy pod uwagę energię i jej zachowanie globalnie – w całym Wszechświecie – pojawiają się niuanse. Nie będziemy musieli ich uwzględniać, możemy więc bezpiecznie przyjąć proste założenie, że energia jest zachowana.

28 Podobnie jak w przykładzie z parą w łazience, w którym zignorowałem cząsteczki powietrza, dla uproszczenia nie rozważam wyraźnie kolizji między gorącymi cząsteczkami uwalnianymi przez pieczony chleb a chłodniejszymi cząsteczkami powietrza unoszącymi się w kuchni i reszcie domu. Takie zderzenia zwiększyłyby średnią prędkość cząsteczek powietrza i zmniejszyłyby prędkość tych uwalnianych przez wypiekany chleb, ostatecznie doprowadzając oba rodzaje cząsteczek do tej samej temperatury. Obniżenie temperatury cząsteczek chleba powodowałoby obniżenie ich entropii, ale podwyższona temperatura cząsteczek powietrza powodowałaby wzrost entropii większy niż jej obniżenie, a zatem łączna entropia obu grup rzeczywiście by wzrosła. W uproszczonej wersji, którą opisałem, można przyjąć, że średnia prędkość cząsteczek uwalnianych przez wypiekany chleb pozostaje stała, w miarę jak się one rozprzestrzeniają; ich temperatura pozostałaby zatem stała, a więc wzrost ich entropii wynikałby z wypełnienia przez nie większej objętości.

29 Dla czytelnika zainteresowanego matematyką istnieje zasadnicze założenie leżące u podstaw tej dyskusji (jak również większości podejść do mechaniki statystycznej prezentowanych w podręcznikach i literaturze naukowej). Dla dowolnego stanu makroskopowego istnieją kompatybilne stany mikroskopowe, które będą ewoluować w kierunku konfiguracji o niższej entropii. Na przykład rozważmy odwróconą w czasie wersję każdej ewolucji, która dała dany stan mikroskopowy, powstały ze wcześniejszej konfiguracji o niższej entropii. Taki „odwrócony w czasie” stan mikroskopowy ewoluowałby w kierunku niższej entropii. Ogólnie rzecz biorąc, tego rodzaju stany klasyfikujemy jako „rzadkie” lub „dobrze dostrojone”. Matematycznie taka kategoryzacja wymaga określenia *miary* na przestrzeni konfiguracji. W znanych sytuacjach użycie jednolitej miary na takiej przestrzeni rzeczywiście sprawia, że warunki początkowe zmniejszające entropię są „rzadkie”, to znaczy mają mniejszą miarę. Jednak zgodnie z miarą, która została wybrana, by osiągnąć maksimum dla takich zmniejszających entropię konfiguracji początkowych, nie byłyby z założenia rzadkie. O ile nam wiadomo, wybór miary jest empiryczny; dla układów, z którymi spotykamy się w życiu codziennym, jednolita miara daje przewidywania zgodne z obserwacjami, podobnie jak miara, na którą się powołujemy. Należy jednak zauważyć, że wybór miary jest uzasadniony przez eksperyment i obserwację. Kiedy rozważamy egzotyczne sytuacje (takie jak wczesny Wszechświat), dla których brakuje nam analogicznych danych prowadzących do konkretnego wyboru miary, musimy przyznać, że nasza

intuicja dotycząca „rzadkości” stanu lub tego, że jest on „uogólniony”, nie ma tych samych podstaw empirycznych.

30 W tym paragrafie znajduje się kilka istotnych punktów, które wpływają na znaczenie stanu o „maksymalnej entropii” w zastosowaniu do Wszechświata. Po pierwsze, nie bierzemy pod uwagę roli grawitacji (zrobimy to w rozdziale 3). I jak zobaczymy, grawitacja ma ogromny wpływ na naturę konfiguracji cząstek o wysokiej entropii. W rzeczywistości, choć nie będzie to naszym celem, w danej skończonej objętości przestrzeni konfiguracją o maksymalnej entropii jest czarna dziura – obiekt zależny od grawitacji – który całkowicie wypełnia objętość przestrzeni (szczegóły zob. np. w mojej książce *Struktura kosmosu*, przeł. E.L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005, rozdział 6 i rozdział 16). Po drugie, jeśli weźmiemy pod uwagę dowolnie duże obszary przestrzeni – nawet nieskończenie duże – konfiguracjami danej ilości materii i energii o najwyższej entropii są te, w których cząstki składowe (materia i/lub promieniowanie) są równomiernie rozłożone w coraz większej objętości. Rzeczywiście, czarne dziury, jak omówimy w rozdziale 10, ostatecznie wyparują (za sprawą procesu odkrytego przez Stephena Hawkinga), dając konfiguracje o wyższej entropii, w których cząstki są coraz bardziej rozproszone. Po trzecie, dla celów tego rozdziału jedynym faktem, którego potrzebujemy, jest to, że entropia danej objętości przestrzeni nie ma maksymalnej wartości. Gdyby ta objętość zawierała, powiedzmy, pokój, w którym teraz przebywasz, entropia by się zwiększyła, jeśli wszystkie cząstki tworzące ciebie, twoje meble i wszelkie inne struktury materialne tego pokoju zapadłyby się w małą czarną dziurę, która następnie wyparowałaby, dając cząstki rozproszone w jeszcze większej objętości przestrzeni. Samo istnienie interesujących struktur materialnych – gwiazd, planet, życia i tak dalej – oznacza, że entropia jest niższa, niż mogłaby być. Właśnie powstanie tych szczególnych konfiguracji o stosunkowo niskiej entropii wymaga wyjaśnienia. W następnym rozdziale podejmiemy to wyzwanie.

31 Dla szczególnie uważnego czytelnika podkreślę jeden dodatkowy szczegół wart doprecyzowania. Gdy para popycha tłok, traci część energii, którą otrzymała z paliwa, ale w procesie tym para nie przekazuje swojej entropii tłokowi (zakładamy, że tłok ma taką samą temperaturę jak para). Przecież to, czy tłok znajduje się *tutaj*, czy też, po popchnięciu, znajdzie się nieopodal tego miejsca, nie ma wpływu na jego wewnętrzny porządek lub nieporządek; jego entropia pozostaje niezmieniona. A bez transferu entropii do tłoka cała entropia pozostaje w parze. Oznacza to, że gdy tłok jest ustawiony na powrót do pozycji wyjściowej, gotowy do następnego cyklu, para wodna musi jakoś oddać cały nadmiar entropii, który przechowuje. Maszyna parowa osiąga to, jak podkreślono w tym rozdziale, przez wydalanie ciepła strat do otoczenia.

32 Bertrand Russell, *Dlaczego nie jestem...*

Rozdział 3
Początek Wszechświata i entropia

Od stworzenia do struktury

Kiedy matematyka pozwala uczonym zrozumieć to, co działo się w ułamku sekundy po narodzinach Wszechświata, bliskość tradycyjnie religijnej tematyki podpowiada niektórym, że może to rodzić głęboki związek albo równie głęboki konflikt. Dlatego równie często otrzymuję pytania dotyczące nauki jak te dotyczące mojego poglądu na temat Stwórcy. Co więcej, pytania często odnoszą się do obu tych kwestii jednocześnie. Będziemy mieli wystarczająco dużo czasu w późniejszych rozdziałach na rozważenie takich spraw, ale tutaj zajmiemy się problemem poruszonym pod koniec poprzedniego rozdziału, który jest istotny dla naszej opowieści: Jeśli drugie prawo termodynamiki obarcza Wszechświat nieustannym wzrostem nieporządku, to jak natura może tak łatwo wytwarzać przepięknie skonfigurowane, wysoce uporządkowane struktury: atomy i cząsteczki, gwiazdy i galaktyki i w końcu życie i umysł? Jeśli Wszechświat rozpoczął się wraz z hukiem eksplozji, to jak ów wybuchowy rozwój doprowadził do powstania tych wszystkich struktur: wirujących ramion Drogi Mlecznej, oszałamiających ziemskich krajobrazów, skomplikowanych połączeń i fałd ludzkiego mózgu aż do wytworów mózgów: sztuki, muzyki, poezji, literatury i nauki?

Jedna z odpowiedzi na to pytanie zakłada, że ten porządek jest wyciosany z chaosu przez najwyższą inteligencję. Doświadczenie

ludzkie dopasowane jest do tego antropomorficznie inspirowanego zwrotu. W końcu znaczna część porządku, z którym we współczesnej cywilizacji spotykamy się na co dzień, *jest* wytworem inteligencji. Jednak właściwa egzegeza drugiego prawa termodynamiki wyklucza inteligentny projekt. Co zaskakujące, regiony zawierające skoncentrowaną energię i porządek (archetypowym przykładem są gwiazdy) są naturalną konsekwencją tego, że Wszechświat pilnie trzyma się linii drugiego prawa i staje się coraz bardziej *nieuporządkowany*. Rzeczywiście, takie zakamarki porządku okazują się katalizatorami, które na dłuższą metę ułatwiają Wszechświatowi osiągnięcie jego potencjału do zwiększania entropii. Po drodze, w ramach tego rozwoju entropii, ułatwiają one również powstawanie życia.

Aby zgłębić zależność między porządkiem a nieporządkiem, ujawniającą się w całej historii kosmosu, zaczniemy od początku.

Wielki Wybuch w zarysie

W połowie lat dwudziestych XX wieku jezuita ksiądz Georges Lemaître wykorzystał nowo opracowany przez Einsteina opis grawitacji – ogólną teorię względności – do stworzenia radykalnej teorii kosmosu, który miałby rozpocząć swe istnienie z hukiem i od tego momentu stale się rozszerzać. Lemaître nie był byle jakim fizykiem. Otrzymał doktorat w Massachusetts Institute of Technology i jako jeden z pierwszych uczonych zastosował równania ogólnej względności do całości kosmosu. Zgodnie z intuicją Einsteina, która z sukcesem prowadziła go przez wspaniałą dekadę odkryć o naturze przestrzeni, czasu i materii, obiekty *we* Wszechświecie mają swój początek, środek i koniec, ale sam Wszechświat zawsze był i będzie zawsze. Kiedy Lemaître na podstawie analizy równań Einsteina wykazał, że jest inaczej, Einstein odrzucił od razu jego wnioski, mówiąc młodszemu badaczowi: „Pańskie obliczenia są poprawne, ale fizyka jest okropna”[33]. Einstein chciał poprzez to wyrazić pogląd, że biegłość w przekształcaniu równań nie zapewnia dobrej fizycznej

intuicji pozwalającej zadecydować, które z tych matematycznych przekształceń odzwierciedlają rzeczywistość.

Kilka lat później Einstein dokonał bardzo szeroko komentowanego zaprzeczenia swych dotychczasowych poglądów naukowych. Otóż szczegółowe obserwacje astronoma Edwina Hubble'a, pracującego w obserwatorium na Mount Wilson, ujawniły, że wszystkie odległe galaktyki poruszają się w przestrzeni. Wszystkie się od nas oddalają. A wzór ich ucieczki – im dalej znajduje się galaktyka, tym wyższa jest jej prędkość – zgadza się z obliczeniami wykonanymi w ramach ogólnej teorii względności. Dzięki danym teraz wspierającym okropną fizykę Lemaître'a Einstein gorliwie przyjął koncepcję Wszechświata mającego swój początek[34].

W ciągu stu lat, jakie upłynęły od nowatorskich obliczeń Lemaître'a, zapoczątkowana przez niego, a także niezależnie przez rosyjskiego fizyka Aleksandra Friedmanna kosmologia teoretyczna w znacznym stopniu się rozwinęła i zgromadzono zbiór faktów obserwacyjnych pochodzących z teleskopów naziemnych i kosmicznych. Oto współczesny przekaz kosmologiczny, który się z nich wyłonił: około czternastu miliardów lat temu cały obserwowalny Wszechświat – wszystko, co widzimy dzięki użyciu najpotężniejszych teleskopów – był ściśnięty w formie niezwykle gorącej, niewiarygodnie gęstej bryłki, która następnie szybko się rozszerzyła. W miarę rozszerzania się obniżała swą temperaturę, cząsteczki stopniowo zwalniały swój szalony ruch i zbijały się w skupiska, które z czasem utworzyły gwiazdy, planety oraz wszelkiego rodzaju gazowe i skaliste odłamki rozproszone w przestrzeni kosmicznej – no i nas.

Taka jest właśnie ta historia ujęta w dwóch zdaniach. Teraz dopełnijmy ją szczegółami. Zbadajmy, w jaki sposób, bez celu i zamiaru, bez rozważań i obmyślania planu działania, kosmos zyskał drobiazgowo uporządkowane konfiguracje cząstek od atomów do gwiazd i życia. Zastanówmy się, jak pojawienie się takich uporządkowanych struktur ma się do dążenia do nieporządku wyrażanego w drugim prawie termodynamiki. Przekonajmy się, jak dwuetapowość entropii przejawia się na poziomie kosmicznym.

W tym celu będziemy musieli dogłębnie zrozumieć pewne szczegóły kosmologii. A na początek: co sprawiło, że pierwotna bryłka zaczęła się rozszerzać? Albo, w języku potocznym, co zapoczątkowało ten Wielki Wybuch?

Odpychanie grawitacyjne

Język obfituje w antonimy, ponieważ życie pełne jest przeciwieństw. Fizyka również ma w tym swój udział: porządek i nieporządek, materia i antymateria, dodatnie i ujemne. Tymczasem od czasów Newtona wydawało się, że siła grawitacji odstaje od tego powszechnego wzorca. W przeciwieństwie do siły elektromagnetycznej, która może pchać lub ciągnąć, grawitacja sprawiała wrażenie wyłącznie siły przyciągającej. Według Newtona na skutek grawitacji zarówno cząsteczki, jak i planety przyciągają się wzajemnie i nigdy nie dzieje się odwrotnie. Brak zasady, która wymagałaby symetrii w działaniu natury, skłaniała większość uczonych zajmujących się zagadnieniem grawitacji do postrzegania jej jednokierunkowego charakteru jako nieodłącznej cechy, którą po prostu trzeba było zaakceptować. Einstein to zmienił. Według ogólnej teorii względności antygrawitacja *może* istnieć. Newton nie przewidział antygrawitacji i nikt z nas jej nigdy nie doświadczył, ale antygrawitacja robi właśnie to, co sugeruje jej nazwa. Zamiast wciągać do środka, wypycha na zewnątrz. Zgodnie z równaniami Einsteina wielkie skupiska materii, takie jak gwiazdy i planety, podlegają zwykle przyciągającej wersji grawitacji, ale istnieją egzotyczne sytuacje, w których siła grawitacji może materię rozpraszać.

Chociaż odpychająca odmiana grawitacji była znana Einsteinowi oraz wielu uczonym, którzy później badali ogólną teorię względności, musiało upłynąć ponad pół wieku, aby odkryć jej najważniejsze zastosowanie. Młody doktorant Alan Guth, analizując Wielki Wybuch, zdał sobie sprawę, że odpychająca siła antygrawitacji może wyjaśnić sprawiającą kłopot kosmiczną tajemnicę. Obserwacje ujawniły, że przestrzeń kosmiczna się rozszerza. Równania Einsteina są też z tym

faktem zgodne, chociaż nie wyjaśniają, jaka siła, która zapoczątkowała miliardy lat temu ekspansję, sprawia, że wciąż ona trwa. Szczegółowe analizy matematyczne Gutha i ich kulminacja w postaci szaleństwa obliczeniowego późną nocą w grudniu 1979 roku skłoniły równania do wyjawienia prawdy.

Guth zdał sobie sprawę, że gdyby jakiś obszar przestrzeni kosmicznej został wypełniony szczególnym rodzajem substancji, czymś, co lubię nazywać „paliwem kosmicznym", i jeśli energia zawarta w tym paliwie byłaby rozłożona równomiernie w całym obszarze – nie zbrylona jak gwiazda czy planeta – to powstała siła grawitacji byłaby rzeczywiście odpychająca. Dokładniej wyrażając myśl, obliczenia Gutha ujawniły, że gdyby maleńki obszar, o średnicy być może tak małej jak miliardowa część miliardowej części metra, był wypełniony pewnym rodzajem energii pola (*pola inflatonu*) i gdyby energia była rozłożona równomiernie, jak para wodna jednorodnie w całej łazience, odpychające działanie grawitacyjne byłoby tak silne, że drobinka przestrzeni rozdęłaby się wybuchowo, niemal natychmiast rozciągając się w obszar obserwowalnego Wszechświata, o ile nie większy. W taki sposób antygrawitacja napędzałaby wybuch – w tym przypadku Wielki Wybuch[35].

Na początku lat osiemdziesiątych XX wieku radziecki fizyk Andriej Linde oraz amerykański duet Paul Steinhardt i Andreas Albrecht podjęli pomysł Gutha i doskonalili jego koncepcję, tworząc pierwsze w pełni realne wersje *kosmologii inflacyjnej*. W ciągu dziesięcioleci te wczesne prace zainspirowały uczonych do wykonania skomplikowanych obliczeń matematycznych zajmujących tysiące stron oraz mnóstwa szczegółowych symulacji komputerowych, dających wyjaśnienia i przewidywania oparte na założeniu inflacyjnej przeszłości. Wiele z tych przewidywań zostało obecnie potwierdzonych w trakcie żmudnych, precyzyjnych pomiarów astronomicznych. Chociaż nie opowiem tu o wszystkich obserwacjach kosmologii inflacyjnej, szeroko omawianych w wielu artykułach i książkach, przytoczę jedną szczególnie spektakularną, który wielu fizyków uważa za najbardziej przekonujący argument. Zrozumienie jej ułatwi nam kolejny krok w poznaniu kosmosu: chodzi o powstanie gwiazd i galaktyk.

Pierwotna poświata

Gdy wczesny Wszechświat rozszerzał się gwałtownie, jego ogromne pierwotne ciepło rozchodziło się po coraz większej przestrzeni, co powodowało, że stale się ona ochładzała[36]. Fizycy już w latach czterdziestych XX wieku, na długo przed opracowaniem teorii inflacji, zdali sobie sprawę, że pierwotne ciepło, zredukowane przez ekspansję przestrzeni do delikatnego blasku, powinno nadal przenikać cały Wszechświat. Ta niezwykła kosmologiczna pozostałość, nazwana „poświatą stworzenia" (lub w żargonie fizyki „kosmicznym mikrofalowym promieniowaniem tła"), została po raz pierwszy wykryta w latach sześćdziesiątych XX wieku przez badaczy z Laboratoriów Bella, Arno Penziasa i Roberta Wilsona. Dzięki zaawansowanej antenie telekomunikacyjnej przypadkowo odebrali oni sygnał promieniowania, które przenika przestrzeń kosmiczną i ma temperaturę 2,7 kelwina powyżej zera absolutnego. W tamtych latach każdy z was mógłby także odebrać to promieniowanie. Część zakłóceń w starym telewizorze nastawionym na kanał, który właśnie zakończył transmisję, była powodowana pozostałościami Wielkiego Wybuchu.

Uwzględnienie mechaniki kwantowej, teorii opracowanej na początku XX wieku w celu opisania procesów fizycznych zachodzących w mikroświecie, w kosmologii inflacyjnej pozwala uściślić przewidywania własności owej poświaty. Ponieważ skupiamy się na całym Wszechświecie, na czymś wielkim, można by pomyśleć, że fizyka kwantowa zajmująca się mikroświatem jest tu nieistotna. I gdyby nie kosmologia inflacyjna, ta intuicja by się sprawdziła. Podobnie jak rozciąganie kawałka tkaniny elastycznej odsłania zawiły wzór jej szwów, rozciąganie przestrzeni kosmicznej przez ekspansję inflacyjną odsłania jej cechy kwantowe zwykle ograniczone do mikroświata. W istocie ekspansja inflacyjna sięga mikrokosmosu i rozciąga własności kwantowe uwidocznione na całym niebie.

Odgrywający najważniejszą rolę efekt kwantowy to ten sam, który ustanowił niepodważalne zerwanie z fizyką klasyczną: *kwantowa zasada nieokreśloności*. Odkryta w 1927 roku przez niemieckiego fizyka Wernera Heisenberga zasada nieokreśloności stanowi, że

istnieją cechy świata – takie jak położenie i prędkość cząstki – które zdaniem fizyka klasycznego, takiego jak Isaac Newton, da się całkowicie określić, a mechanika kwantowa stwierdza, że nie można ich jednocześnie dokładnie zmierzyć. To tak, jakby w klasycznej fizyce oglądać świat przez dobrze oszlifowane soczewki okularów, przez które wszystkie fizyczne cechy są ostro widoczne, podczas gdy w mechanice kwantowej okulary z natury są zawsze zamglone. W świecie codziennym, powszechnie doświadczanym, mgła kwantowa jest zbyt słaba, aby mogła wpływać na widok, zatem perspektywa klasyczna i kwantowa są ledwo rozróżnialne. Im jednak mniejszy obiekt badasz, tym bardziej mgliste stają się soczewki kwantowe i tym bardziej widok jest rozmyty.

Ta metafora może sugerować, że należałoby tylko przetrzeć kwantowe soczewki. Zasada nieokreśloności natomiast zakłada, że bez względu na to, jak bardzo jesteśmy pedantyczni i jak bardzo zaawansowanej aparatury używamy, zawsze będzie istnieć odrobina kwantowej mgły, której nie da się usunąć. W istocie moje sformułowanie ujawnia tendencyjność ludzkiego doświadczenia. Ta kwantowa rzeczywistość *wydaje się* mglista tylko dzięki porównaniu jej z ewidentnie niepoprawnym klasycznym podejściem, które odkryliśmy najpierw, ponieważ jest ono prostsze i o wiele bardziej dostępne ludzkim zmysłom. W istocie to fizyka klasyczna daje przybliżony, a więc nieprecyzyjny obraz prawdziwej kwantowej rzeczywistości.

Nie wiem, dlaczego rzeczywistością rządzą prawa kwantowe. Nikt tego nie wie. Eksperymenty wykonane w ciągu stu lat potwierdziły mnóstwo przewidywań mechaniki kwantowej i dlatego nauka przyjęła tę teorię. Mimo tego dla większości z nas mechanika kwantowa pozostaje całkowicie obca, ponieważ jej cechy charakterystyczne wychodzą na jaw na tak małych odległościach, których nie doświadczamy w życiu codziennym. Gdybyśmy ich doświadczali, nasza intuicja byłaby kształtowana bezpośrednio przez procesy kwantowe, a fizyka kwantowa byłaby dla nas naturalna. Podobnie jak intuicyjnie wyczuwasz implikacje fizyki newtonowskiej – udaje ci się złapać spadającą szklankę, bo przewidujesz jej newtonowską trajektorię – można by zyskać intuicję kwantową.

Jednak nie mając intuicji kwantowej, musimy polegać na eksperymentach i matematyce, aby zrozumieć te aspekty rzeczywistości, których nie możemy bezpośrednio doświadczać.

Najczęściej omawiany przykład, o którym już wspominaliśmy, dotyczy ściśle określonych trajektorii cząstek fizyki klasycznej, które w mechanice kwantowej muszą być zmodyfikowane ze względu na bezustanne drgania wynikające z kwantowej nieoznaczoności. Gdy cząstka przemieszcza się z jednego miejsca w drugie, fizyk klasyczny narysuje jej trajektorię cienkim piórem, podczas gdy fizyk kwantowy namaże ją palcem umoczonym w atramencie[37]. Jednak mechanika kwantowa ma znaczenie daleko wykraczające poza ruch pojedynczych cząstek, a dla kosmologii zasada nieokreśloności ma decydujący wpływ na pole inflatonu, które jest odpowiedzialne za szybką ekspansję przestrzeni. Chociaż pisałem, że pole inflatonu jest jednorodne – przyjmuje tę samą wartość we wszystkich punktach rozszerzającej się przestrzeni – to kwantowa nieokreśloność ją rozmywa. Nieokreśloność nakłada kwantowe drgania na klasyczną jednorodność, w wyniku czego wartość pola, a co za tym idzie – jego energia, jest trochę wyższa tu i trochę niższa tam.

Gdy ekspansja inflacyjna gwałtownie rozciąga kosmos, te drobne wahania kwantowej energii, rozchodząc się w przestrzeni, sprawiają, że temperatura jest nieco wyższa tu i nieco niższa tam. Nie za wiele. Analizy matematyczne, przeprowadzone przez fizyków po raz pierwszy w latach osiemdziesiątych XX wieku, wykazały, że temperatury gorących i zimnych obszarów różniłyby się zaledwie o jedną stutysięczną stopnia. Badania te sugerowały również, że niewielkie wahania temperatury byłyby widoczne, gdybyśmy wiedzieli, w jaki sposób ich szukać. Obliczenia wykazały, że rozciągnięte drgania kwantowe wytwarzają wyraźny wzorzec wahań temperatury w przestrzeni, taki kosmologiczny odcisk palca możliwy do zbadania przez kosmologicznych techników kryminalistyki. Rzeczywiście, od początku lat dziewięćdziesiątych kilka kolejnych teleskopów rozmieszczanych ponad ziemską atmosferą potwierdzało z coraz większą precyzją przewidywany wzorzec wahań temperatury.

Poświęćmy chwilę na podsumowanie tego wszystkiego. Fizycy opisują najwcześniejsze momenty Wszechświata za pomocą równań

Einsteina, uzupełnionych o wypełniające przestrzeń hipotetyczne pole energetyczne Gutha, podlegające kwantowej nieokreśloności, którą wprowadził Heisenberg. Matematyczne analizy inflacyjnego wybuchu ujawniają następnie, że powinien on pozostawić po sobie nieusuwalny znak, skamielinę stworzenia w postaci specyficznego wzoru maleńkich wahań temperatury na nocnym niebie. Wyrafinowane termometry kosmiczne, zbudowane prawie czternaście miliardów lat później przez gatunek, który dopiero co na peryferiach Drogi Mlecznej wszedł w wiek nauki, wykryły właśnie ten wzór.

Jest to spektakularny sukces, pokazujący po raz kolejny niezwykłą zdolność matematyki do zwięzłego przedstawiania wzorców natury. Jednak stwierdzenie, że obserwacje dowodzą istnienia wybuchu ekspansji inflacyjnej, byłoby obarczone zbyt wielką pewnością. Mając do czynienia z wydarzeniami kosmologicznymi, które zaszły miliardy lat temu, i to w skali energii prawdopodobnie milion razy większej od tego, co możemy otrzymać w laboratorium, najlepsze, co możemy zrobić, to zbierać obserwacje i dokonywać obliczeń w celu ugruntowania zaufania do wyjaśnień, jakie możemy z nich uzyskać. Gdyby wybuch inflacyjny pozostawał jedynym sposobem na zrozumienie danych kosmologicznych, nasze zaufanie byłoby bliskie pewności, ale z biegiem lat obdarzeni wyobraźnią uczeni opracowali alternatywne wyjaśnienia (z jednym z nich spotkamy się w rozdziale 10). Moim zdaniem, podzielanym przez wielu badaczy, chociaż musimy być otwarci na nowe pomysły, które kwestionują dominujący punkt widzenia, rozwój kosmologii inflacyjnej w ciągu ostatnich czterdziestu lat robi ogromne wrażenie[38]. Kontynuując wciąż naszą podróż, będziemy przez większą część czasu podążać szlakiem inflacji.

Zastanówmy się teraz, jak inflacyjny początek sprzęga się z dążeniem drugiej zasady termodynamiki do zwiększania nieporządku.

Wielki Wybuch i druga zasada termodynamiki

Pomimo wielowiekowego postępu naukowego wcale nie zbliżyliśmy się do wyjaśnienia tajemnicy istnienia wyrażonej zwięźle przez niemieckiego filozofa Gottfrieda Leibniza w pytaniu „Dlaczego istnieje tam raczej coś niż nic?". Nie chodzi o to, że ludziom brak było twórczych pomysłów i zmuszających do refleksji teorii. Zadając pytanie o pierwotne źródło istnienia, szukamy odpowiedzi, która nie odnosi się do niczego wcześniejszego, odpowiedzi, która nie przesuwa pytania o krok wstecz, odpowiedzi, po której nie można już zadać następnego pytania: „Dlaczego to zaszło w *ten* sposób, a nie w *tamten*?" czy „Dlaczego *te* prawa, a nie *tamte*?". Żadne z zaproponowanych wyjaśnień jeszcze tego nie osiągnęło ani nawet nie przybliżyło się do takiej sytuacji.

Teoria inflacji na pewno nie. Inflacja wymaga listy składników, na której znajdują się przestrzeń, czas, kosmiczne paliwo napędzające ekspansję (pole inflatonu), jak również cały aparat matematyczny mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności oparty na rachunku różniczkowym wielu zmiennych, algebrze liniowej i geometrii różniczkowej. Nie istnieje żadna zasada będąca punktem wyjścia dla wyjaśnienia Wszechświata, która wyróżniałaby owe szczególne prawa fizyczne, wyrażone za pomocą takich szczególnych działów matematyki. Zamiast tego my, fizycy, opierając się na trudnej do wyrażenia intuicji fizycznej i wrażliwości matematycznej, korzystamy z obserwacji i eksperymentów, aby formułować poszczególne prawa fizyczne. Następnie analizujemy te prawa matematycznie i określamy, jakie warunki środowiskowe w najwcześniejszych chwilach istnienia Wszechświata, o ile takie mogłyby być, spowodowałyby tak szybką ekspansję przestrzeni. Po ich szczęśliwym znalezieniu *postulujemy*, że pojawiły się w chwili Wielkiego Wybuchu, i za pomocą równań określamy, co mogłoby potem zajść.

To najlepsze, co możemy obecnie zrobić. I nie jest to do pogardzenia. Fakt, że możemy wykorzystać matematykę do opisania tego, co mogło się dziać prawie czternaście miliardów lat temu, i na tej podstawie z powodzeniem przewidzieć, co potężne teleskopy powinny teraz zobaczyć, po prostu zapiera dech w piersiach. Oczywiście, ważnych pytań jest wiele, na przykład: Co lub kto

stworzył przestrzeń i czas? Co lub kto sprawił, że da się to opisać w ramach matematyki? Co lub kto jest odpowiedzialny za to, że cokolwiek w ogóle istnieje? Nawet gdyby te wszystkie pytania pozostały bez odpowiedzi, i tak uzyskaliśmy potężny wgląd w rozwój kosmosu.

Moim zamiarem jest wykorzystanie tej wiedzy do zrozumienia, jak Wszechświat osiągający coraz większą entropię, którego przeznaczeniem jest zwiększanie nieporządku, tworzy po drodze całe bogactwo uporządkowanych struktur. Mając taki cel, zacznijmy od najbardziej podstawowej obserwacji, o której wspominałem w poprzednim rozdziale. Jeśli od chwili Wielkiego Wybuchu entropia stale rośnie, to w chwili wybuchu musiała być znacznie niższa, niż jest obecnie[39].

I co mamy z tym zrobić?

Cóż, do tej pory raczej wzruszaliśmy ramionami na wzmiankę o konfiguracji z wysoką entropią – czy to o rozrzuconych monetach z przypadkowo ułożonymi do góry orłami lub reszkami, czy o parze wodnej równomiernie wypełniającej łazienkę, czy też o zapachu odczuwanym w całym domu. Konfiguracji o wysokiej entropii spodziewamy się, są one powszechne, są przeciętne, ale kiedy napotyka się konfiguracje o niskiej entropii, nasza reakcja jest zgoła inna. Taka konfiguracja jest wyjątkowa. Jest niezwykła. Wymaga wyjaśnienia, skąd pojawił się ów uporządkowany stan rzeczy.

Gdy to rozumowanie zastosowano do wczesnego Wszechświata, uczeni i filozofowie załamywali ręce. Jaka siła, jaki proces spowodował, że wczesny Wszechświat miał niską entropię? Niską entropię ma sto monet leżących orłami w górę i można to natychmiast wyjaśnić – zamiast rozrzucić monety na stole, ktoś starannie je ułożył. Ale co lub kto ułożył specjalną konfigurację wczesnego Wszechświata o niskiej entropii? Bez pełnej teorii pochodzenia kosmosu nauka nie może udzielić na to pytanie odpowiedzi. Faktycznie, chociaż jest to pytanie, które nie dało mi zasnąć przez wiele nocy (dosłownie), nauka nie umie jeszcze określić, czy warto się tym zagadnieniem niepokoić. Nie pojmując, dlaczego istnieje tam raczej coś niż nic, nie potrafimy także ocenić, jak egzotyczne lub zwyczajne to coś w istocie jest. Aby uznać, czy

szczegółowe warunki wczesnego Wszechświata warte są wzruszenia ramionami, czy zdumionego spojrzenia, musimy poznać proces, który warunki te ustalił.

Jeden ze scenariuszy, rozważany przez kosmologów, zakłada, że wczesny Wszechświat był bardzo chaotycznym środowiskiem, co spowodowało, że pole inflatonu bardzo silnie fluktuowało w przestrzeni, jak powierzchnia wrzącej wody. Aby stworzyć odpychającą grawitację i zainicjować wybuch, potrzebujemy małego obszaru przestrzeni, w którym wartość pola inflatonu jest stała (lub bardzo bliska stałej ze względu na kwantowe drgania). Jednak znalezienie takiego obszaru wśród chaotycznych zmian byłoby jak zagotowanie kadzi wody i zaobserwowanie gładkiego obszaru na jej powierzchni, a to nigdy się nie zdarza. Nie dlatego, że zjawisko takie nie może zajść, ale dlatego, że jego prawdopodobieństwo jest bardzo małe. Byłoby zdumiewającym przypadkiem, gdyby obszar kadzi, w którym pęcherzyki wody przypadkowo pojawiają się na tej samej wysokości w tym samym momencie, stworzył płaską, uporządkowaną, stałą konfigurację o niskiej entropii. Podobnie, burzliwie pofałdowane pole inflatonu uzyskujące stałą wartość w małym obszarze przestrzeni, zapoczątkowujące ekspansję inflacyjną, także byłoby zdumiewającym przypadkiem. Wyjaśnienie, jak mogłaby powstać taka szczególna, uporządkowana konfiguracja o niskiej entropii, sprawia fizykom wielki kłopot[40].

Poszukując drogi wyjścia z tego problemu, niektórzy badacze biorą pod uwagę proste spostrzeżenie: jeśli czekasz wystarczająco długo, to nawet najbardziej nieprawdopodobne zdarzenie się wydarzy. Potrząśnij wiele razy workiem ze stoma monetami i w końcu wylądują na stole wszystkie orłami do góry. Najmądrzej byłoby nie wstrzymywać oddechu w oczekiwaniu na taki wynik, ale w końcu to się stanie. Można podobnie argumentować, że w środowisku chaotycznym, w którym wartość pola inflatonu zmienia się gwałtownie, prędzej czy później – przez przypadek – powstanie malutki obszar, w którym losowe zmiany wartości pola się wyrównają, co doprowadzi do tego, że pole będzie miało tę samą wartość w całym tym obszarze. Wymaga to szczęśliwego trafu, w wyniku którego pojawi się większy porządek i tym samym niższa

entropia, ale od czasu do czasu *tak się stanie*. Nieczęsto. Nie przejmuj się tym punktem widzenia, ponieważ to wszystko zaszłoby przed początkiem historii, przed gwałtowną ekspansją przestrzeni, którą nazywamy Wielkim Wybuchem, gdy nie było tam nikogo, kto by z zimna rozcierał dłonie i tupał nogami, czekając na zapłon uruchamiający ekspansję inflacyjną. Niech więc okres przedinflacyjny trwa tak długo, jak trzeba. Dopiero gdy pojawi się statystyczny szczęśliwy traf jednolitego obszaru inflatonu, w końcu nastąpi zmiana: dokona się Wielki Wybuch, przestrzeń gwałtownie się rozszerzy i zacznie się całe to kosmologiczne przedstawienie.

Podczas gdy żaden szczegół z powyższego scenariusza nie rozwiązuje najbardziej podstawowych zagadnień takich jak pochodzenie (pochodzenie przestrzeni, czasu, pól, matematyki i tak dalej), to jednak wyjaśnia on, jak chaotyczne środowisko może stworzyć szczególne, uporządkowane warunki o niskiej entropii, których wymaga inflacja. Kiedy w maleńkim obszarze przestrzeni w końcu następuje statystycznie mało prawdopodobny przeskok do niskiej entropii, antygrawitacja wkracza do akcji i przekształca go w szybko rozszerzający się Wszechświat – podczas Wielkiego Wybuchu.

Nie jest to jedyna hipoteza dotycząca sposobu, w jaki ekspansja inflacyjna mogła zacząć swój rozwój. Andriej Linde, jeden z pionierów kosmologii inflacyjnej, żartował, że na trzech badaczy przypada co najmniej dziewięć opinii na ten temat[41]. Dlatego ostateczną odpowiedź na pytanie, w jaki sposób mały obszar przestrzeni został jednolicie wypełniony polem inflatonu, wywołując w ten sposób gwałtowną ekspansję przestrzeni, będziemy mogli poznać dzięki przyszłym badaniom, teoretycznym i obserwacyjnym. Na razie po prostu założymy, że w ten czy inny sposób wczesny Wszechświat przeszedł w ową wysoce uporządkowaną konfigurację o niskiej entropii, nastąpił Wielki Wybuch, a reszta jest historią.

Z tego punktu wyruszamy teraz na dalszą wędrówkę, obserwując, jak we Wszechświecie pędzącym w kierunku coraz bardziej nieuporządkowanej przyszłości tworzą się uporządkowane struktury, takie jak gwiazdy i galaktyki.

Pochodzenie materii i narodziny gwiazd

W ciągu jednej miliardowej miliardowej miliardowej części sekundy od Wielkiego Wybuchu antygrawitacja rozciągnęła maleńki obszar przestrzeni na taki, który być może jest znacznie rozleglejszy, niż można zbadać najbardziej zaawansowanymi teleskopami[42]. Przestrzeń została wypełniona polem inflatonu, ale w ciągu kolejnego ułamka sekundy i to uległo zmianie. Podobnie jak energia powierzchni rozszerzającej się bańki mydlanej, energia rozszerzającego się, wypełnionego polem inflatonu jest niestabilna. Podczas gdy bańka mydlana w końcu pęka, zamieniając swoją energię w mgłę kropel mydlanej wody, pole inflatonu także „pęka" i rozpada się, zamieniając swoją energię w mgłę utworzoną z cząstek.

Nie znamy dokładnej tożsamości tych cząstek, ale możemy powiedzieć z pewnością, że nie były to zwykłe składniki materii. Jednak po kilku minutach nastąpiła w całej przestrzeni kaskada gwałtownych reakcji pomiędzy cząstkami – ciężkie cząstki rozpadały się na lżejsze, o silnym powinowactwie, łączące się w zwarte konglomeraty – przekształcająca pierwotną łaźnię cząstek w populację protonów, neutronów i elektronów, składników znanej nam materii (i prawdopodobnie także innych, bardziej egzotycznych cząstek, takich jak ciemna materia, o czym świadczy długa historia obserwacji astronomicznych[43]). W krótkim czasie po Wielkim Wybuchu Wszechświat wypełnił się więc gorącą, niemal jednolitą mgłą cząstek, z których jedne są nam znane, a inne mniej, i rozbiegły się one w rozszerzającą się przestrzeń.

Napisałem „niemal jednolitą" mgłą, ponieważ kwantowe drgania pola inflatonu nie tylko są przyczyną wahań temperatury w poświacie Wielkiego Wybuchu, lecz także powodują – gdy inflaton się rozpadnie – że gęstość powstałej mgły cząstek będzie się nieznacznie wahać w różnych punktach całej przestrzeni, troszeczkę więcej tu, troszeczkę mniej tam i tak dalej. Te wahania miały kluczowe znaczenie dla tego, co działo się dalej: dla dążenia do powstawania brył materii, takich jak gwiazdy i galaktyki. Obszar, który jest nieco gęstszy niż jego sąsiedztwo, wywiera nieco większą

siłę grawitacyjną, a więc przyciąga ku sobie nieco więcej otaczających go cząstek. W ten sposób obszar ten staje się jeszcze gęstszy, zatem wywiera jeszcze większe przyciąganie grawitacyjne, przyciągając ku sobie jeszcze więcej materii. Jest to efekt kuli śnieżnej, grawitacyjnego skupiania się materii w coraz większą bryłę. Wystarczy czekać wystarczająco długo, setki milionów lat, a grawitacyjna kula śniegowa stworzy aglomeraty cząstek tak masywne, tak ściśnięte i tak gorące, że wewnątrz nich następuje inicjacja procesów jądrowych, dając początek gwiazdom. Nieoznaczoność kwantowa, zwielokrotniona dzięki inflacyjnej ekspansji przestrzeni i koncentrowana przez efekt grawitacyjnej kuli śniegowej, spowodowała, że na nocnym niebie pojawiły się świecące punkty.

Zatem pytanie jest następujące: jak proces formowania gwiazd, w którym grawitacja w niemal jednolitej chaotycznej pierwotnej łaźni cząstek tworzy uporządkowane struktury astrofizyczne, ma się do drugiej zasady termodynamiki sugerującej wzrastanie nieporządku? Odpowiedź na nie wymaga, abyśmy bardziej dokładnie zbadali, co prowadzi do zwiększania entropii.

Przeszkody na drodze do nieporządku

Podczas pieczenia w piecu chleba uwalniane cząsteczki rozprzestrzeniają się na zewnątrz i zajmują coraz większą objętość, a więc ich entropia rośnie. Natomiast w odległej sypialni nie od razu poczujemy aromat świeżo upieczonego chleba. Potrzeba na to czasu. Musimy poczekać, aż cząsteczki aromatu zajmą dostępne konfiguracje o wyższej entropii. To jest typowe zachowanie. Układy fizyczne na ogół nie mogą przeskoczyć bezpośrednio do konfiguracji o maksymalnej entropii, lecz podczas losowego ruchu cząsteczek układu jego entropia stopniowo wzrasta aż do możliwej maksymalnej wartości.

Na drodze ku wyższej entropii mogą znajdować się również przeszkody, które utrudniają jej wzrost. Uszczelniony piekarnik lub zamknięte kuchenne drzwi utrudnią rozprzestrzenianie się aromatu,

tym samym spowalniając wzrost entropii. Takie przeszkody wynikają z interwencji człowieka, ale są też inne sytuacje, w których przeszkody wynikają z praw rządzących samymi oddziaływaniami fizycznymi. Piekarnik jest takim przykładem, który znam z wypadku w dzieciństwie.

Będąc jeszcze w czwartej klasie, pewnego dnia wróciłem do domu ze szkoły i postanowiłem podgrzać resztki pizzy, które znalazłem w lodówce. Ustawiłem temperaturę piekarnika na czterysta stopni, wsunąłem pizzę na środkową półkę i czekałem. Po jakichś dziesięciu minutach sprawdziłem, jak przebiega nagrzewanie, i byłem zaskoczony, że pizza jest tak samo zimna jak wtedy, gdy ją rozpakowałem. Wówczas zaświtało mi w głowie, że chociaż włączyłem gaz, to zapomniałem go zapalić. (Nasz skromny piekarnik, typowy w tym czasie, nie miał wbudowanej tzw. fajki, więc każde jego użycie wymagało ręcznego zapalenia gazu). Naśladując moich rodziców, których obserwowałem setki razy, pochyliłem się do piekarnika i przeciągnąłem łepkiem zapałki po szorstkim pasku pudełka, zamierzając przystawić ogień do małego otworu w palniku. We wnętrzu piekarnika zdążył się już nagromadzić gaz, który natychmiast wybuchł. Ściana płomieni uderzyła we mnie. Zamknąłem oczy, gdy ogień wypalał mi brwi i rzęsy, a na twarzy i uszach pozostały mi ślady poparzeń drugiego i trzeciego stopnia. Otrzymana wtedy lekcja życia, wzmocniona reprymendą rodziców i miesiącami bolesnego leczenia, dotyczyła prawidłowego użytkowania urządzeń kuchennych. (W końcu się przełamałem i teraz ja głównie gotuję – choć chwilami czuję niepokój, kiedy moje dzieci, przygotowując sobie posiłek, włączają piekarnik). Jednak w większym naukowym planie ważne jest to, że na drodze ku wyższej entropii mogą pojawić się blokady drogowe, które da się pokonać tylko za pomocą katalizatora. Chodzi mi o następujące zjawisko.

Gaz ziemny (którego skład to głównie metan, czyli związek węgla i wodoru) może spokojnie współistnieć z tlenem w powietrzu; molekuły każdego gazu mogą się spokojnie mieszać. Jednak w miarę jak cząsteczki rozprzestrzeniają się i mieszają, pojawia się możliwość powstania odrębnej konfiguracji o znacznie wyższej entropii. Takiej

konfiguracji nie można osiągnąć inaczej niż przez rozpraszanie się cząsteczek. Konfiguracja o wysokiej entropii wymaga reakcji chemicznej. Nie przejmujmy się szczegółami, które krótko opiszę. Jedna cząsteczka gazu ziemnego może połączyć się z dwiema cząsteczkami tlenu, w wyniku czego powstanie jedna cząsteczka dwutlenku węgla, dwie cząsteczki wody i, co najważniejsze, wyrzut energii. Na poziomie molekuł to właśnie oznacza spalanie gazu ziemnego. Reakcja chemiczna uwalnia energię wiązania chemicznego utrzymującego razem cząsteczki gazu, tak jak to się dzieje, gdy pękają napięte gumki. W przypadku mojej przygody z piekarnikiem wybuch to wzbudzone do wysokiej energii i szybko poruszające się molekuły, które poparzyły mi twarz. To wszystko świadczy o tym, że takie reakcje chemiczne, uwalniając energię zgromadzoną w uporządkowanych wiązaniach chemicznych, zamieniają ją w chaotyczny ruch cząsteczek i powodują gwałtowny wzrost entropii.

Chociaż szczegóły są specyficzne dla niefortunnego wypadku jednego dziecka, epizod ten demonstruje zasadę fizyczną mającą szerokie zastosowanie. Na drodze entropii mogą pojawić się progi zwalniające: same w sobie gaz ziemny i tlen nie połączą się, nie spalą i nie osiągną dostępnej konfiguracji o wyższej entropii. Te składniki chemiczne są w stanie pokonać przeszkodę tylko za pomocą katalizatora, który zapoczątkuje reakcję. W moim przypadku katalizatorem była płonąca zapałka. Mały płomień wykrzesany przez czwartoklasistę wywołał efekt domina. Energia płomienia zerwała wiązania trzymające razem niektóre cząsteczki gazu ziemnego, pozwalając uwolnionym atomom węgla i wodoru na połączenie się z atomami tlenu, co wyzwoliło dodatkową energię, która rozerwała dalsze wiązania gazu ziemnego, rozwijając ten proces coraz szerzej. Eksplozja była kaskadą pakietów energii uwalnianych w wyniku gwałtownej reorganizacji wiązań chemicznych.

Należy pamiętać, że to oddziaływanie elektromagnetyczne jest odpowiedzialne za tworzenie wiązań chemicznych. Dodatnio naładowane protony przyciągają ujemnie naładowane elektrony („w odróżnieniu od ładunków elektrycznych przyciągają”), spinając atomy w kompleksy cząsteczek. Oznacza to, że skok entropii od spokojnego mieszania się cząsteczek gazu do jego wybuchowego

spalania w wyniku zerwania wiązań chemicznych jest wynikiem oddziaływań elektromagnetycznych. Dotyczy to wielu procesów zwiększających entropię, które znamy z codziennego doświadczenia.

Ewolucję w kierunku wyższej entropii, w epizodach, które wielokrotnie rozgrywają się w kosmosie, często powodują inne oddziaływania natury, które są mniej znane tutaj na Ziemi, czyli grawitacja i siły jądrowe (silne oddziaływanie jądrowe utrzymuje jądro atomowe w całości, podczas gdy słabe oddziaływanie jądrowe odpowiada za rozpad radioaktywny). Jak już to wiemy w odniesieniu do siły elektromagnetycznej, droga do wyższej entropii, znaczona wpływem grawitacji i oddziaływań jądrowych, także nie musi być gładka. Mogą tu istnieć przeszkody, i to często. Sposób, w jaki Wszechświat pokonuje te przeszkody – kosmiczna analogia mojej zapalonej zapałki – jest bardzo subtelny, ale to sprawa, którą powinniśmy być wszyscy zainteresowani. Wśród przemijających struktur Wszechświata, które tworzą grawitacja i oddziaływania jądrowe, na drodze ku wyższej entropii są gwiazdy i planety. A tu na Ziemi – życie. Mimo całego swojego majestatu te uporządkowane struktury są wołami roboczymi natury, które zaprzęgnięte w grawitację i oddziaływania jądrowe ciągną kosmos ku realizacji potencjału jego entropii.

Skupmy się najpierw na grawitacji.

Grawitacja, porządek i druga zasada termodynamiki

Grawitacja jest najsłabszą z sił natury, o czym zaświadczy ta najprostsza demonstracja. Weź do ręki monetę. Mięśnie w twoim ramieniu przezwyciężają przyciąganie grawitacyjne całej Ziemi. Bez względu na to, czy uważasz się za słabeusza, czy też siłacza, zwycięstwo nad przyciąganiem grawitacyjnym planety podkreśla jej naturalną słabość. Jedynym powodem, dla którego zdajemy sobie sprawę z grawitacji, jest to, że stanowi ona siłę skumulowaną: każda odrobina Ziemi ciągnie za każdy kawałek monety i za każdy fragment tej książki, i za każdą część ciebie, a ponieważ Ziemia jest ogromna, to pociąganie sumuje się, dając w rezultacie siłę działającą w dół,

którą odczuwamy. Natomiast przyciąganie grawitacyjne między dwoma mniejszymi masami, takimi jak dwa elektrony, jest milion miliardów miliardów miliardów razy słabsze niż ich elektromagnetyczne odpychanie.

Naturalna słabość grawitacji jest powodem, dla którego nawet nie wspomnieliśmy o niej podczas wcześniejszego badania entropii. Gdybyśmy uwzględnili efekty grawitacji w codziennych sytuacjach, takich jak rozprzestrzenianie się pary wodnej w łazience czy rozchodzenie się zapachów w domu, nasze rozważania nad entropią prawie niewiele by się zmieniły. Oczywiście, grawitacja delikatnie pociąga cząsteczki w dół, powodując, że gęstość pary wodnej jest nieco większa bliżej podłogi łazienki, ale efekt jest tak mały, że w tym przypadku nic to nie zmienia. Jeśli jednak zastanowimy się nad procesami astronomicznymi, które dotyczą znacznie większej ilości materii, napotkamy niezwykle ważną wzajemną grę między entropią a grawitacją.

Teraz chcę przedstawić sprawy nieco trudniejsze do zrozumienia, jeśli więc w którymś momencie omówienie stanie się niezrozumiałe, nie krępujcie się i przejdźcie do następnej sekcji, aby zapoznać się z podsumowaniem. Jednak wysiłek się opłaci: zrozumiecie, jak grawitacja spontanicznie tworzy porządek w coraz bardziej nieuporządkowanym kosmosie.

Oto kosmiczna wersja scenariusza wypieku chleba. Zamiast domu wyobraźmy sobie ogromne, znacznie większe od Słońca pudło unoszące się w pustej przestrzeni, a zamiast zapachów wydobywających się z pieca niech na środku pudła znajdzie się kula gazu (by zachować precyzję, niech będzie to wodór, najprostszy pierwiastek układu okresowego), którego cząsteczki dążą do wycieknięcia na zewnątrz. Na podstawie naszego doświadczenia z aromatem chleba rozchodzącym się po domu oczekujemy, że gaz będzie ewoluował w kierunku wyższej entropii dzięki rozpraszaniu się cząsteczek, aż do momentu, gdy równomiernie wypełnią one pudło. Teraz trochę zmieńmy przebieg zdarzeń. Inaczej niż podczas wypieku chleba, dodajmy tyle cząsteczek do kuli gazu, żeby grawitacja *zaczęła się liczyć*: przyciąganie grawitacyjne, którego doświadcza pojedyncza cząsteczka, dzięki połączonemu przyciąganiu

grawitacyjnemu przeogromnej liczby innych cząsteczek gazu znacząco wpływa na ruch tej cząsteczki. Jaki ma to wpływ na nasz wniosek?

Cóż, postawcie się w sytuacji cząsteczki gazu, która migruje na zewnątrz. Oddalając się od centrum skupiska, czuje ona grawitacyjne przyciąganie innych cząsteczek, które stara się pociągnąć ją do tyłu. Ta siła spowalnia jej ruch. Mniejsza prędkość oznacza niższą temperaturę. Gdy chmura gazu zwiększa swoją objętość przez rozszerzanie się, to w miarę zbliżania się do granicy zmniejsza się wewnątrz niej temperatura. Weźmy to pod uwagę, a teraz popatrzmy, jak to wygląda z punktu widzenia cząsteczki znajdującej się bliżej centralnej części chmury. Będąc bliżej centrum, odczuwa ona znacznie silniejsze przyciąganie grawitacyjne w porównaniu z tym, jakie panuje na odległej granicy. W rzeczywistości, jeśli liczba molekuł okaże się wystarczająca, połączone przyciąganie grawitacyjne będzie dostatecznie silne, aby w ogóle nie dopuścić do migracji na zewnątrz. Zamiast tego nastąpi wciąganie do środka. Molekuły, nabierając prędkości, będą spadać w kierunku centrum klastra gazowego. Większa prędkość oznacza wyższą temperaturę, gdyż grawitacja powoduje, że rdzeń chmury gazowej kurczy się do wewnątrz, zmniejsza swą objętość i temperatura całości wzrasta.

Inaczej niż w przypadku zapachu rozchodzącego się podczas wypieku chleba, gdy gaz z czasem stałby się równomiernie wymieszany w całym pudle i osiągnąłby jednakową temperaturę wszędzie – tu widzimy, że gdy grawitacja ma znaczenie, rozkład gazu jest zupełnie inny. Grawitacja powoduje, że niektóre molekuły są wciągane do gorętszego i gęstszego rdzenia, podczas gdy inne migrują na zewnątrz do chłodniejszej i bardziej rozproszonej powłoki, która go otacza.

Choć to wyjaśnienie może wydawać się zbyt uproszczone, to opisuje jeden z najważniejszych czynników mających wpływ na powstawanie porządku we Wszechświecie. Pozwólcie mi rozwinąć tę myśl.

Trzymając każdego ranka w ręce kubek gorącej kawy, nigdy nie odnosisz wrażenia, że jest on gorętszy niż wcześniej, podczas

wlewania do niego kawy. Dzieje się tak dlatego, ponieważ ciepło przepływa tylko od wyższej do niższej temperatury, a więc gorąca kawa przenosi część swojego ciepła do chłodniejszego otoczenia, co powoduje obniżenie jej temperatury[44]. W przypadku dużej chmury gazu ciepło również przepływa od gorącego centrum do chłodniejszej otaczającej je powłoki. Może się wydawać, że ten przepływ ciepła ochłodzi rdzeń i ogrzeje powłokę, co zbliży ich temperatury, podobnie jak ciepło przekazywane z kawy do powietrza przybliża temperaturę kubka do temperatury pokojowej. Jednak – i jest to niezwykle ważne – kiedy grawitacja wszystkim rządzi, wniosek jest odwrotny. *W miarę jak ciepło wypływa z rdzenia, rdzeń staje się coraz gorętszy, a powłoka coraz chłodniejsza.*

Obserwacja ta jest z pewnością sprzeczna z intuicją, ale zrozumienie jej to tylko kwestia połączenia faktów, o których już mówiliśmy. W miarę jak otaczająca powłoka pochłania ciepło z rdzenia, dodatkowa energia napędza chmurę do jeszcze większego rozszerzania się. Poruszające się na zewnątrz cząsteczki walczą z przyciągającym do środka działaniem grawitacji i tym samym są jeszcze bardziej spowalniane[45]. W rezultacie temperatura rozszerzającej się powłoki spada, a nie rośnie. A w rdzeniu – na odwrót, gdy pozbywa się on ciepła, spadek energii powoduje, że kurczy się jeszcze bardziej. Cząsteczki poruszające się do wewnątrz, płynąc w tym samym kierunku co przyciąganie grawitacyjne, przyspieszają w miarę opadania, a więc temperatura kurczącego się rdzenia rośnie.

Gdyby poranna kawa zachowywała się w ten sposób, dobrze byłoby wypić ją szybko. Im dłużej będziecie czekać, tym więcej ciepła zostanie oddane do otoczenia i tym bardziej będzie się ona nagrzewać. W odniesieniu do kawy to absurd, ale w chmurze gazu na tyle dużej, że grawitacja może w niej odgrywać dominującą rolę, tak się właśnie dzieje.

Zastanówmy się przez chwilę nad tym wnioskiem, a zdamy sobie sprawę, że mamy tu do czynienia z procesem samowzmocnienia; podobnie dzieje się z zadłużeniem na karcie kredytowej – im więcej jesteśmy winni, tym większe naliczają nam odsetki i tym większy staje się dług, co prowadzi do spirali zadłużenia. W przypadku

chmury gazowej, w miarę jak rdzeń się kurczy, a jego temperatura rośnie, oddaje ona jeszcze więcej ciepła do chłodniejszego otoczenia, powodując jeszcze większe kurczenie się i jeszcze większy wzrost temperatury. Jednocześnie ciepło pochłaniane przez powłokę powoduje, że rozszerza się ona jeszcze bardziej, a jej temperatura jeszcze bardziej spada. Stale powiększająca się różnica temperatur pomiędzy rdzeniem a powłoką powoduje, że ciepło przepływa jeszcze bardziej energicznie, co jeszcze bardziej napędza ten cykl.

Z wyjątkiem interwencji lub zmiany okoliczności takie cykle samo-wzmacniające się trwają bez końca. W przypadku rosnącego zadłużenia na karcie kredytowej interweniuje się, wpłacając pieniądze lub ogłaszając upadłość. W przypadku rdzenia coraz bardziej ściskanego i rozgrzewającego się natura interweniuje przez wprowadzenie nowego procesu fizycznego: *syntezy jądrowej*. Kiedy zbiór atomów staje się wystarczająco gorący i gęsty, uderzają one w siebie z taką siłą, że mogą połączyć się głębiej niż w procesach chemicznych, takich jak spalanie gazu ziemnego. Podczas gdy spalanie chemiczne jest reakcją, która obejmuje elektrony otaczające atomy, reakcja syntezy jądrowej łączy jądra znajdujące się w centrach atomów. Dzięki tak głębokim połączeniom synteza jądrowa produkuje ogromne ilości energii w postaci szybko poruszających się cząstek. I to właśnie ten gwałtowny ruch termiczny wytwarza ciśnienie skierowane na zewnątrz zdolne do zrównoważenia siły grawitacji działającej do wewnątrz. Reakcja syntezy jądrowej w rdzeniu zatrzymuje w ten sposób jego kurczenie się. W rezultacie powstaje skupione, stabilne i trwałe źródło ciepła i światła.

Rodzi się gwiazda

Aby określić, jak proces formowania wpływa na entropię, dodajmy wkłady. Zarówno rdzeń chmury gazowej, która staje się gwiazdą, jak i otaczająca ją powłoka gazu podlegają rywalizującym ze sobą procesom mającym wpływ na entropię. Jeśli chodzi o rdzeń, to wzrost jego temperatury zwiększa entropię, a zmniejszenie objętości

ją zmniejsza. Tylko na podstawie szczegółowych obliczeń[46] możemy stwierdzić, że spadek jest większy niż wzrost, a więc w rdzeniu entropia netto spada. Tworzenie się dużych skupisk grawitacyjnych, takich jak gwiazdy, jest rzeczywiście procesem zwiększającym porządek. Jeśli chodzi o powłokę, to jej objętość wzrasta i zwiększa się jej entropia, ale temperatura spada, czyli entropia się zmniejsza. I jeszcze raz odwołamy się do szczegółowych obliczeń, w wyniku których wzrost entropii jest większy niż jej spadek, a więc netto entropia powłoki wzrasta. Ostatecznie obliczenia wskazują, że wzrost entropii powłoki przewyższa spadek entropii rdzenia, co powoduje, że cały proces prowadzi ogólnie do wzrostu entropii, zasługując na ukłon uznania od drugiej zasady termodynamiki.

Łańcuch zdarzeń, z pewnością bardzo wyidealizowany i uproszczony, pokazuje, jak spontanicznie powstaje gwiazda – ognisko niskiej entropii, strefa porządku – nawet jeśli żaden inżynier nie kieruje tym działaniem i nawet jeśli drugie prawo termodynamiki, z jego dyktatem wzrostu entropii, pozostaje w mocy. W porównaniu z silnikiem parowym środowisko kosmiczne jest bardziej egzotyczne, ale to, co odkryliśmy, stanowi kolejny przykład dwuetapowości entropii. Podobnie do termodynamicznego tańca silnika parowego z jego otoczeniem – gdy uwalnia on ciepło strat, powodując spadek swojej entropii, a otoczenie wchłania to ciepło, powodując wzrost swej entropii – wystarczająco wielka chmura gazowa angażuje się w analogiczne *pas de deux*. Ponieważ rdzeń takiej chmury kurczy się pod wpływem przyciągania grawitacyjnego, jego entropia spada, ale w procesie tym uwalnia się ciepło, które powoduje wzrost entropii otoczenia. Powstaje lokalny obszar porządku w środowisku, które z nadwyżką kompensuje to sobie gwałtownym wzrostem nieporządku.

Nową cechą grawitacyjnej wersji dwuetapowości entropii jest to, że sama się podtrzymuje. W miarę jak chmura gazu się kurczy i emituje ciepło, jej temperatura wzrasta, co zwiększa wypływ ciepła na zewnątrz i powoduje kontynuację tej dwuetapowości. Natomiast gdy silnik parowy wykonuje pracę i emituje ciepło, jego temperatura spada. Bez spalenia dodatkowej ilości paliwa w celu podgrzania pary silnik się zatrzyma. Dlatego silnik parowy wymaga inteligencji, aby

go zaprojektować, zbudować i zasilić, podczas gdy obszar porządku utworzony przez zapadającą się chmurę gazu – gwiazdę – jest tworzony i zasilany przez bezmyślną siłę grawitacji.

Synteza jądrowa, porządek i druga zasada termodynamiki

Podsumujmy.

Kiedy wpływ grawitacji jest minimalny, druga zasada termodynamiki prowadzi układ ku jednorodności. Materia i energia się rozpraszają, a entropia wzrasta. Gdyby to było wszystko, historia Wszechświata byłaby nijaka. Kiedy jednak jest wystarczająco dużo materii, aby wpływ grawitacji okazał się znaczący, druga zasada termodynamiki wykonuje zwrot o 180 stopni i kieruje układ ku niejednorodności. Materia skupia się tu, a rozprasza tam. Energia koncentruje się tu i rozprzestrzenia tam. Entropia zmniejsza się tu, a zwiększa tam. Sposób, w jaki realizuje się dyrektywa drugiej zasady termodynamiki, subtelnie zależy od grawitacji. Gdy grawitacja jest wystarczająco silna – silna na tyle, by koncentrować materię – mogą formować się uporządkowane struktury. Dzięki temu historia rozwijającego się Wszechświata staje się znacznie bogatsza.

Jak opisano wyżej, główną rolę w tym procesie odgrywa siła grawitacji. Dla porównania odpowiedzialna za syntezę siła jądrowa wydaje się tu zdecydowanie drugorzędna. Jej zadanie zdaje się ograniczone do interwencji: w wyniku syntezy jądrowej powstaje ciśnienie skierowane na zewnątrz, które powstrzymuje grawitacyjne zapadanie się. Istotnie, często na poczekaniu podsumowuje się to tak, że grawitacja jest fundamentalnym źródłem wszystkich struktur w kosmosie, zaledwie wspominając o roli siły jądrowej. Bardziej sprawiedliwe będzie jednak stwierdzenie, że istnieje partnerstwo między grawitacją a siłami jądrowymi, ponieważ działając w tandemie, rozwijają one narrację drugiej zasady termodynamiki.

Chodzi o to, że siła jądrowa angażuje się również w dwuetapowość entropii. Kiedy jądra atomowe łączą się – tak jak w Słońcu, gdzie jądra wodoru łączą się w hel miliardy miliardów razy na sekundę –

w rezultacie powstaje bardziej złożony, misterniej zorganizowany klaster atomowy o niższej entropii. W tym procesie część masy jąder początkowych zamieniana jest w energię (zgodnie ze wzorem $E = mc^2$), głównie w postaci rozbłysku fotonów, które ogrzewają wnętrze gwiazdy i uwalniają się z jej powierzchni w postaci światła. I to właśnie światło gwiazdy, które samo w sobie jest potokiem fotonów, przenosi do otoczenia ogromne ilości entropii. A co więcej, tak jak w przypadku silnika parowego i grawitacyjnie zapadającej się chmury gazu, wzrost entropii środowiska więcej niż rekompensuje obniżenie się entropii scalających się jąder, powodując, że entropia netto wzrasta i prawdziwość drugiej zasady termodynamiki ponownie zostaje dowiedziona.

Tak jak gaz ziemny i tlen potrzebują katalizatora (takiego jak ja zapalający zapałkę), aby zainicjować chemiczne spalanie, jądra atomowe potrzebują katalizatora, aby wywołać syntezę jądrową. Dla gwiazd katalizator ten nie jest niczym innym jak siłą grawitacji, która miażdży materię w rdzeniu, aż stanie się wystarczająco gorąca i gęsta, aby nastąpiła synteza jądrowa. Gdy już reakcja się rozpocznie, może zasilać gwiazdę przez miliardy lat, syntetyzując złożone jądra atomowe, ponieważ wydobywa niedostępną skądinąd porcję entropii, którą rozpyla na zewnątrz w postaci ciepła i światła. I jak się przekonamy w następnym rozdziale, te produkty – złożone atomy i strumienie światła – są niezbędne do tworzenia jeszcze bogatszych i bardziej skomplikowanych struktur, w tym i nas. Tak więc chociaż grawitacja jest istotnym czynnikiem tworzenia gwiazdy i utrzymania stabilnego gwiezdnego środowiska, to przez miliardy lat właśnie siła jądrowa jest na pierwszej linii frontu, dowodząc szarżą entropii. Z tej perspektywy rola grawitacji przesuwa się z głównego bohatera na nieodzownego partnera owego długotrwałego duetu.

Antropomorficzny skutek jest taki, że Wszechświat sprytnie wykorzystuje siły grawitacyjne i jądrowe, by zapanować nad niewykorzystaną entropią, która jest zawarta w jego materialnych składnikach. Bez grawitacji cząsteczki, które są równomiernie rozproszone, jak aromat, który wypełnił dom, osiągnęły najwyższą dostępną entropię. Natomiast dzięki grawitacji cząsteczki ściśnięte

w masywne i gęste kule i wspierane syntezą jądrową podnoszą entropię coraz wyżej.

Ta wersja dwuetapowości entropii, wykonywana przez siłę jądrową z katalizatorem, którym jest grawitacja, wyraźnie dotyczy materii w całym Wszechświecie. Proces ten zdominował kosmiczną choreografię zaraz po Wielkim Wybuchu, w wyniku którego powstały ogromne liczby gwiazd – uporządkowanych struktur astronomicznych, których ciepło i światło, przynajmniej w jednym przypadku, umożliwiły pojawienie się życia. Rozwój ten, jak zbadamy w następnym rozdziale, wiąże się z odpowiednikiem entropii – ewolucją, która pozwala kształtować najbardziej złożone struktury we Wszechświecie.

33 Georges Lemaître, *Recontres avec Einstein*, „Revue des questions scientifiques" 1958, nr 129, s. 129–32.

34 Pełna historia przyjęcia koncepcji rozszerzającego się Wszechświata przez Einsteina obejmuje dwa aspekty. Po pierwsze, Arthur Eddington dowiódł matematycznie, że wcześniejsza propozycja Einsteina dotycząca statycznego wszechświata miała wadę: rozwiązanie było niestabilne, co oznaczało, że jeśli przestrzeń będzie się lekko rozszerzać, to będzie się dalej rozszerzać; jeśli będzie się lekko kurczyć, to będzie się dalej kurczyć. Po drugie, obserwacje omówione w tym rozdziale coraz wyraźniej pokazywały, że przestrzeń nie jest statyczna. Połączenie obu tych wniosków przekonało Einsteina do porzucenia pojęcia statycznego wszechświata (chociaż niektórzy twierdzili, że największy wpływ mogły mieć teoretyczne rozważania). Szczegóły tej historii zob. Harry Nussbaumer, *Einstein's conversion from his static to an expanding universe*, „European Physics Journal – History" 2014, nr 39, s. 37–62.

35 Alan H. Guth, *Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems*, „Physical Review D" 1981, nr 23, s. 347. Termin naukowy dla „paliwa kosmicznego" to pole skalarne. W przeciwieństwie do bardziej znanych pól elektrycznych i magnetycznych, które określają wektor w każdym punkcie przestrzeni (wielkość i kierunek pola elektrycznego lub magnetycznego w danym miejscu), pole skalarne określa tylko jedną liczbę w każdym punkcie przestrzeni (liczby, na podstawie których można wyznaczyć energię i ciśnienie pola). Zwróćcie uwagę, że praca Gutha i wiele późniejszych publikacji dzięki inflacji pozwoliły rozwiązać wiele zagadnień kosmologicznych wcześniej niejasnych – problem monopoli, problem horyzontu i problem płaskości – by wymienić tylko te najbardziej znane (Alan Guth, *Wszechświat inflacyjny: w poszukiwaniu nowej teorii kosmosu*, przeł. E.L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000).

Podążając za Guthem, lubię wskazywać inflację jako intuicyjny czynnik zewnętrzny napędzający ekspansję przestrzenną po Wielkim Wybuchu.

36 Wspomniane chłodzenie zachodzi po zakończeniu gwałtownej fazy inflacji i wejściu w fazę mniej gwałtownej, ale wciąż znaczącej ekspansji przestrzennej. Dla uproszczenia pominąłem kilka etapów pośrednich w rozwoju kosmosu. Wczesny Wszechświat ochłodził się, ponieważ duża część zawartej w nim energii była przenoszona przez fale elektromagnetyczne, a takie fale rozciągają się w miarę rozszerzania się przestrzeni. To wydłużenie fal elektromagnetycznych – tak zwane przesunięcie promieniowania ku czerwieni – zmniejsza ich energię i obniża ogólną temperaturę. Należy jednak zauważyć, że nawet jeśli temperatura jest niska, to całkowita entropia wzrasta z powodu rozszerzania się przestrzeni.

37 Istnieje również podzielany przez mniejszość punkt widzenia, który przypisuje to rozmazanie nieodłącznemu kwantowemu ograniczeniu precyzji pomiarów, a nie fundamentalnemu rozmyciu rzeczywistości. W tym podejściu – zwanym zwykle „mechaniką Bohma" od nazwiska fizyka Davida Bohma, ale czasami nazywanym też „teorią de Broglie'a–Bohma", w uznaniu zasług laureata Nagrody Nobla Louisa de Broglie'a – cząstki zachowują ostre i określone trajektorie. Trajektorie te różnią się od tych przewidywanych przez fizykę klasyczną (istnieje dodatkowa siła kwantowa, która działa na cząstki w trakcie ich ruchu), ale żeby użyć określeń stosowanych w tym rozdziale, takie trajektorie można by narysować za pomocą naostrzonego pióra. Niepewność i nieostrość bardziej tradycyjnego sformułowania mechaniki kwantowej objawia się jako statystyczna niepewność co do warunków początkowych danej cząstki. Różnica między tymi dwoma punktami widzenia, choć istotna dla obrazu rzeczywistości, którą maluje każda z obu teorii, nie ma praktycznie żadnego wpływu na przewidywania ilościowe.

38 Kosmologia inflacyjna to raczej zbiór teorii – w przeciwieństwie do konkretnej teorii opartej na założeniu, że we wczesnej fazie rozwoju Wszechświat przeszedł krótki okres gwałtownej, przyspieszonej ekspansji. Dokładny sposób powstania tej fazy i szczegóły jej rozwoju różnią się w poszczególnych ujęciach matematycznych. Najprostsze wersje mają kłopot z coraz bardziej precyzyjnymi danymi obserwacyjnymi, co przesunęło punkt ciężkości na nieco bardziej złożone wersje teorii inflacji. Krytycy teorii twierdzą, że bardziej złożone wersje są mniej przekonujące, a co więcej, wersje te pokazują, że paradygmat inflacyjny jest zbyt elastyczny, aby dane mogły go kiedykolwiek sfalsyfikować. Zwolennicy argumentują, że wszystko, czego jesteśmy świadkami, to naturalny postęp nauki: nieustannie dostosowujemy nasze teorie do najbardziej precyzyjnych informacji dostarczanych przez pomiary, obserwacje i rozważania matematyczne. Mówiąc bardziej ogólnie, a także bardziej technicznie, kosmolodzy powszechnie twierdzą, że Wszechświat przeżył fazę, podczas której zmniejszyła się wielkość współporuszającego się horyzontu. Mniej jasne jest, czy faza ta jest właściwie opisana przez kosmologię inflacyjną, w której dynamikę napędza jednorodna

energia przenikającego przestrzeń pola skalarnego (zob. przyp. 35 wyżej), jak to opisałem, czy też mogła ona być wynikiem innego mechanizmu (takiego jak kosmologie odbicia, inflacja bran, zderzanie się światów bran, teorie zmiennej prędkości światła). W rozdziale 10 omówimy pokrótce kosmologię odbicia opracowaną przez Paula Steinhardta, Neila Turoka i ich współpracowników, w której Wszechświat przechodzi liczne cykle ewolucji kosmologicznej.

39 Szczególnie gorliwemu czytelnikowi chciałbym zwrócić uwagę na ważną kwestię kładącą się cieniem na dyskusji. Jeśli wszystko, co wiesz o danym układzie fizycznym, sprowadza się do tego, że ma on mniej niż maksymalną entropię, to druga zasada termodynamiki pozwala wyciągnąć nie jeden, ale dwa wnioski: najbardziej prawdopodobnie ewolucja układu w przyszłość zwiększy jego entropię i najprawdopodobniej ewolucja układu w przeszłość również ją zwiększy. Taki jest ciężar symetrycznych względem odwrócenia w czasie praw-równań, które działają w ten sam sposób niezależnie od tego, czy ewolucja dzisiejszego stanu dokonuje się w przyszłość, czy w przeszłość. Wyzwanie polega na tym, że przeszłość o wyższej entropii, do której prowadzą takie rozważania, jest niespójna z przeszłością o niższej entropii, o której świadczy pamięć i zapisy. (Pamiętamy, że częściowo stopione kostki lodu były wcześniej mniej stopione, a więc miały niższą entropię). Co ważniejsze, przeszłość o wysokiej entropii podważyłaby nasze zaufanie do samych praw fizyki, ponieważ taka przeszłość nie obejmowałaby eksperymentów i obserwacji, które wspierają te prawa. Aby tego uniknąć, musimy narzucać przeszłość o niskiej entropii. Ogólnie rzecz biorąc, robimy to przez wprowadzenie nowego założenia, nazwanego przez filozofa Davida Alberta hipotezą przeszłości, które głosi, że entropia miała niską wartość podczas Wielkiego Wybuchu i od tamtej pory następuje jej wzrost. Jest to podejście, które domyślnie przyjęliśmy w tym rozdziale. W rozdziale 10 wyraźnie przeanalizujemy mało prawdopodobną, ale możliwą do wyobrażenia hipotezę wystąpienia stanu niskiej entropii wynikającego z poprzedniej konfiguracji o wysokiej entropii. Więcej szczegółów znajduje się w rozdziale 7 *Struktury kosmosu*…

40 Matematyczne opisy entropii uściślają to spostrzeżenie: w każdym regionie jest o wiele więcej sposobów na to, by wartość pola była różna (wyższa tu, niższa tam, znacznie niższa gdzie indziej itd.), niż sposobów na to, by było ono jednolite (ta sama wartość w każdym miejscu), a zatem wymagane warunki mają niską entropię. Istnieje jednak ukryte założenie teoretyczne, o którym trzeba pamiętać. Dla ułatwienia będę używał klasycznego języka, ale rozważania te mają bezpośrednie przełożenie na fizykę kwantową. W mikroświecie żadna konfiguracja cząstek ani pól nie jest zasadniczo wyodrębniona na tle innych i dlatego generalnie uważamy, że każda z nich jest tak samo prawdopodobna jak każda inna. Jest to jednak założenie, które opiera się na tym, co filozofowie nazywają *zasadą racji niedostatecznej*. Nie mając żadnych dowodów *a priori* odróżniających jedną mikroskopową konfigurację od innej, przypisujemy im równe prawdopodobieństwo

realizacji. Kiedy skupiamy się na makroświecie, prawdopodobieństwo jednego makrostanu w stosunku do drugiego jest określane przez stosunek liczby mikrostanów, które tworzą każdy z nich. Jeśli jest dwa razy więcej mikrostanów, które dają dany makrostan w porównaniu z tymi, które dają ten drugi, to prawdopodobieństwo wystąpienia tego makrostanu jest dwa razy większe. Należy jednak zauważyć, że zasadniczo uzasadnienie zasady racji niedostatecznej musi być oparte na danych empirycznych. Rzeczywiście, codzienne doświadczenie potwierdza zasadność wielu zastosowań zasady racji niedostatecznej. Weźmy nasz przykład rozrzuconych monet. Zakładając, że każdy „mikrostan" monet (stan określony przez wyszczególnienie położenia każdej z nich, np. moneta 1 to orzeł, moneta 2 to reszka, moneta 3 to orzeł itd.) jest tak samo prawdopodobny jak każdy inny, dochodzimy do wniosku, że te „makroskopowe" konfiguracje (stany określone tylko przez podanie ogólnej liczby orłów i reszek, a nie położeń poszczególnych monet), które mogą być zrealizowane przez dużą liczbę mikrostanów, są bardziej prawdopodobne. Kiedy rzucamy monetami, to empiryczne założenie jest potwierdzone rzadkością tych wyników, które mogą być realizowane tylko przez niewielką liczbę mikrostanów (takich jak wszystkie orły), i wszechobecnością tych, które mogą być zrealizowane przez dużą liczbę mikrostanów (takich jak pół orłów i pół reszek). Znaczenie tego dla naszej dyskusji kosmologicznej jest takie, że kiedy mówimy, iż stały obszar pola inflatonu jest „mało prawdopodobny", to powołujemy się też na zasadę racji niedostatecznej. Zakładamy domyślnie, że każda możliwa mikroskopowa konfiguracja pola (dokładna wartość pola w każdym miejscu) jest tak samo prawdopodobna jak każda inna, znów więc prawdopodobieństwo danej makroskopowej konfiguracji jest proporcjonalne do liczby mikrostanów, które ją realizują. Jednakże, w przeciwieństwie do przypadku rozrzuconych monet, nie mamy żadnych dowodów empirycznych na poparcie tego założenia. Fakt, że wydaje się to rozsądne, opiera się na naszym doświadczeniu codziennym w świecie makroskopowym, w którym zasada racji niedostatecznej jest oparta na obserwacji. Natomiast w kosmologii mamy do czynienia tylko z jednym przebiegiem eksperymentu. Twarde podejście empiryczne mogłoby doprowadzić do wniosku, że jakkolwiek szczególne mogą się wydawać pewne konfiguracje oparte na zasadzie racji niedostatecznej, jeśli prowadzą do obserwowanego przez nas Wszechświata, to są one wyróżnione i jako klasa zasługują na to, by nazywać je nie tylko „prawdopodobnymi", lecz także „pewnymi" (z zastrzeżeniem zwyczajowej tymczasowości wszystkich naukowych wyjaśnień). Matematycznie taka zmiana odnośnie do tego, co nazywamy prawdopodobnym i mało prawdopodobnym, jest znana jako zmiana miary na przestrzeni konfiguracyjnej (zob. rozdział 2, przyp. 14). Miara początkowa, przypisująca równe prawdopodobieństwa każdej możliwej konfiguracji, nazywana jest miarą „płaską". Obserwacje mogą więc motywować do wprowadzenia miary „niepłaskiej", która wyróżnia pewne klasy konfiguracji jako bardziej prawdopodobne. Fizycy są generalnie niezadowoleni z takiego podejścia. Wprowadzenie miary na przestrzeni konfiguracyjnej w celu zapewnienia jak

największej wagi tym konfiguracjom, które prowadzą do świata, jaki znamy, fizykom wydaje się „nienaturalne". Szukają oni fundamentalnej, pierwszej zasady, matematycznej struktury, która da taką miarę na wyjściu, w przeciwieństwie do włączenia jej w warunki początkowe. Ważną kwestią jest to, czy nie są to zbyt wygórowane żądania i czy sukces po prostu nie cofnąłby zagadnienia jeden krok wstecz do domyślnych założeń leżących u podstaw każdego podejścia opartego na pierwszych zasadach. Nie jest to szukanie dziury w całym. W ostatnich trzydziestu latach rozważań teoretycznych w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych wiele czasu poświęcono zagadnieniom dostrojenia w najbardziej wyrafinowanych teoriach (dostrojenie pola Higgsa w Modelu Standardowym fizyki cząstek elementarnych; dostrojenie wymagane w problemach horyzontu i płaskości w standardowej kosmologii Wielkiego Wybuchu). Z pewnością takie badania doprowadziły do szerokiego wglądu zarówno w fizykę cząstek elementarnych, jak i w kosmologię, ale czy może nadejść moment, w którym po prostu będziemy musieli zaakceptować pewne cechy świata jako takie, bez głębszego wyjaśniania? Lubię myśleć, podobnie jak wielu moich kolegów, że odpowiedź brzmi: nie. Nie ma wszakże żadnej gwarancji, że tak się stanie.

41 Andriej Linde, osobista rozmowa z 15 lipca 2019 r. Preferowane przez Lindego podejście polega na tym, że faza inflacji jest inicjowana przez zdarzenie kwantowego tunelowania z domeny wszystkich możliwych geometrii i pól, w której same pojęcia czasu i temperatury mogą jeszcze nie mieć znaczenia. Rozsądnie wykorzystując formalizm kwantowy, Linde argumentował, że kwantowe warunki prowadzące do ekspansji inflacyjnej mogą być powszechne we wczesnym Wszechświecie, w którym nie ma ograniczeń kwantowych.

42 W sposób naturalny przyjmuje się, że im mocniejszy teleskop (im większy jego rozmiar, tym większe ma lustro itd.), tym odleglejsze obiekty będzie można za jego pomocą zobaczyć, ale jest pewna granica. Jeśli obiekt jest tak odległy, że żadne światło, które emitował od momentu narodzin, nie miałoby jeszcze wystarczająco dużo czasu, aby do nas dotrzeć, to niezależnie od sprzętu, którego używamy, nie będziemy w stanie go zobaczyć. Mówimy, że takie obiekty leżą poza naszym *kosmicznym horyzontem*. To koncepcja, która będzie odgrywała szczególnie ważną rolę w naszej dyskusji o dalekiej przyszłości w rozdziałach 9 i 10. W kosmologii inflacyjnej przestrzeń kosmiczna rozszerza się tak gwałtownie, że otaczające ją regiony są rzeczywiście wypierane poza nasz horyzont kosmiczny.

43 W świetle dowodów pośrednich (ruch gwiazd i galaktyk) panuje powszechna zgoda co do tego, że przestrzeń jest wypełniona cząstkami ciemnej materii – cząstkami, które wywierają siłę grawitacyjną, ale nie pochłaniają ani nie produkują światła. Jednak poszukiwania cząstek ciemnej materii nie dały dotąd rezultatów, dlatego niektórzy badacze zaproponowali alternatywę dla ciemnej materii polegającą na tym, że obserwacje wyjaśnia się modyfikacjami prawa powszechnej grawitacji. W związku z ciągłym niepowodzeniem wielu trwających eksperymentów

mających na celu bezpośrednie wykrycie cząstek ciemnej materii te alternatywne teorie przyciągają coraz większą uwagę.

44 Kierunek przepływu ciepła od cieplejszych substancji lub środowisk do chłodniejszych jest bezpośrednią konsekwencją drugiej zasady termodynamiki. Kiedy gorąca kawa ochładza się do temperatury pokojowej, przenosząc część swojego ciepła na cząsteczki powietrza, lekko się ono nagrzewa, a więc wzrasta jego entropia. Wzrost entropii powietrza przewyższa spadek entropii chłodzącej się kawy, dzięki czemu wzrasta ogólna entropia. Matematycznie zmiana entropii w układzie wynika ze zmiany ciepła podzielonego przez jego temperaturę ($\Delta S = \Delta Q/T$, gdzie S oznacza entropię, Q ciepło, a T temperaturę). Kiedy ciepło przepływa z układu gorętszego do chłodniejszego, wielkość zmiany ciepła dla każdego układu jest taka sama, ale jak pokazuje równanie, spadek entropii w układzie gorętszym jest mniejszy niż wzrost entropii w układzie chłodniejszym (ze względu na T w mianowniku), a więc zmiana netto da ogólny wzrost entropii.

45 Z punktu widzenia zasady zachowania energii w miarę jak cząsteczki się rozrzedzają, zwiększa się ich grawitacyjna energia potencjalna, a więc maleje energia kinetyczna.

46 Czytelnik zaznajomiony z matematyką i fizyką może to zrozumieć za pomocą przybliżonych obliczeń klasycznej mechaniki statystycznej, w której entropia jest proporcjonalna do objętości przestrzeni fazowej. Załóżmy, że kurcząca się chmura gazu spełnia (słynne) twierdzenie o wiriale, które wiąże średnią energię kinetyczną cząstek, K, z ich średnią energią potencjalną, U, związkiem $K = -U/2$. Następnie, ponieważ grawitacyjna energia potencjalna jest proporcjonalna do $1/R$, gdzie R jest promieniem chmury, widzimy, że K jest również proporcjonalne do $1/R$. Ponadto ponieważ energia kinetyczna jest proporcjonalna do kwadratu prędkości cząsteczek, dowiadujemy się, że średnia prędkość cząsteczek jest proporcjonalna do $1/\sqrt{R}$. Objętość przestrzeni fazowej dostępnej dla cząstek w chmurze jest więc proporcjonalna do $R^3(1/\sqrt{R})^3$, gdzie pierwszy czynnik wyobraża objętość przestrzeni dostępnej dla cząstek, a drugi objętość przestrzeni pędowej dostępnej dla cząstek. Widzimy, że spadek objętości przestrzennej dominuje nad wzrostem objętości przestrzeni pędowej, co daje ogólny spadek entropii w miarę kurczenia się chmury. Zauważmy również, że twierdzenie o wiriale zapewnia, iż w miarę kurczenia się chmury spadek energii potencjalnej przewyższa wzrost energii kinetycznej (ze względu na współczynnik 2 w twierdzeniu wiążącym K z U), a więc zmniejsza się nie tylko entropia kurczącej się części chmury, lecz także jej energia. Energia ta jest wypromieniowywana do otaczającej ją powłoki, której energia wzrasta, podobnie jak jej entropia.

Rozdział 4
Informacja i witalność

Od struktury do życia

„Drogi profesorze Schrödinger – tak rozpoczynał się bezpretensjonalny list od biologa Francisa Cricka z 1953 roku do Erwina Schrödingera, jednego z ojców założycieli mechaniki kwantowej i laureata Nagrody Nobla z fizyki za 1933 rok. – Watson i ja dyskutowaliśmy kiedyś o tym, jak to się stało, że zajęliśmy się biologią molekularną, i odkryliśmy, że obaj byliśmy pod wpływem Pańskiej książki *Czym jest życie?*". Crick nawiązywał do publikacji Schrödingera z radością, którą ledwie mógł powstrzymać: „Myślimy, że zainteresują Pana załączone do listu odbitki – wygląda na to, że Pańskie określenie »kryształ aperiodyczny« stanie się bardzo trafne"[47].

Watson, którego Crick wymienia, to oczywiście James Watson, współautor wraz z Crickiem „załączonych odbitek", które dopiero co wyszły z druku. Zawierały one publikację naukową, która miała stać się jedną z najbardziej znanych w XX wieku. W opublikowanej formie zajęła ona mniej niż jedną stronę druku, a jednak wystarczyło to do ujawnienia geometrii podwójnej helisy DNA, co Crickowi, Watsonowi oraz Maurice'owi Wilkinsowi z King's College utorowało drogę do Nagrody Nobla za 1962 rok[48]. Co znamienne, Wilkins również przyznał, że książka Schrödingera zapoczątkowała jego zainteresowanie badaniami molekularnych podstaw dziedziczności; według jego słów, „poruszyła mnie"[49].

Schrödinger napisał *Czym jest życie?* w 1944 roku na podstawie serii wykładów publicznych, które wygłosił rok wcześniej w Dublin Institute for Advanced Studies. W uczelnianych ogłoszeniach zaznaczył, że temat wykładów jest trudny i „niełatwo te prelekcje nazwać popularnymi", co jest godnym pochwały zobowiązaniem do dokładnego wyjaśnienia tematu nawet kosztem pomniejszonej liczby słuchaczy[50]. Mimo to w 1943 roku, gdy na kontynencie szalała II wojna światowa, w kampusie Trinity College przez trzy kolejne piątki lutego ponad czterystuosobowa publiczność, w tym premier Irlandii, różni dygnitarze i zamożni bywalcy, zasiadała w sali wykładowej zbudowanego z szarego kamienia Fitzgerald Building, aby wysłuchać, jak urodzony w Wiedniu fizyk zmaga się z nauką o życiu[51].

Opisane przez Schrödingera ostrzeżenie dotyczyło postępów w udzielaniu odpowiedzi na jedno z podstawowych pytań: „Jak fizyka i chemia wyjaśnić mogą wydarzenia, zachodzące w czasie i przestrzeni, odbywające się wewnątrz żywego organizmu?". Luźno parafrazując, powiedzielibyśmy: skały różnią się od królików. Ale jak? I dlaczego? Każdy z tych obiektów to ogromny zbiór protonów, neutronów i elektronów, a wszystkie te cząstki – niezależnie od tego, czy są w obrębie skały, czy królika – podlegają tym samym prawom fizyki. Co takiego zatem zachodzi w ciele królika, że jego zbiór cząsteczek tak bardzo różni się od zbioru cząstek tworzących skałę?

To rodzaj pytania, jakie zadałby fizyk. Bardzo często fizycy są redukcjonistami i dlatego mają tendencję do wyjaśniania złożonych zjawisk, odwołując się do właściwości i oddziaływań prostszych składników. Podczas gdy biolodzy często definiują życie na podstawie jego podstawowych funkcji – organizmy żywe chłoną surową materię w celu zasilenia samopodtrzymujących funkcji, wydalają odpady wytworzone w tym procesie, a w najbardziej skutecznych przypadkach dokonują reprodukcji – Schrödinger na pytanie „Czym jest życie?" poszukiwał odpowiedzi, która opierałaby się na fizycznych podstawach życia.

Redukcjonizm ma ogromny powab. Gdybyśmy potrafili zidentyfikować to, co ożywia zbiór cząstek, to, jaka molekularna magia rozpala ogień życia, zrobilibyśmy znaczący krok ku poznaniu pochodzenia życia i jego wszechobecności – albo i nie – w kosmosie.

Ponad pół wieku później, mimo kolosalnych postępów fizyki, a zwłaszcza biologii molekularnej, wciąż poszukujemy odpowiedzi na różne wersje pytania Schrödingera. Chociaż nastąpił imponujący postęp w zakresie badań nad składnikami organizmów żywych, badacze wciąż stoją przed ogromnym zadaniem wyjaśnienia, jak życie wyłania się, gdy składniki tworzą szczególne konfiguracje. Tego typu synteza jest istotnym składnikiem programu redukcjonistycznego. Przecież im dokładniej badasz coś, co żyje, tym trudniej jest dostrzec, że jest to żywe. Skoncentruj się na pojedynczej cząsteczce wody, atomie wodoru lub pojedynczym elektronie, a zobaczysz, że żadne z nich nie nosi znamienia określającego, czy jest składnikiem materii żywej, czy też martwej. Życie jest rozpoznawalne dzięki zbiorowemu zachowaniu, organizacji o wielkiej skali, nadrzędnej koordynacji ogromnej liczby składników składających się z cząsteczek – nawet pojedyncza komórka zawiera ponad bilion atomów. Poszukiwanie wglądu w istotę życia przez koncentrację na cząstkach podstawowych jest jak słuchanie symfonii Beethovena instrument po instrumencie, nuta po nucie.

W swoim pierwszym wykładzie sam Schrödinger podkreślił właśnie to zagadnienie. Gdyby ciało lub mózg mogły zostać osłabione przez błędne ruchy pojedynczego atomu lub kilku atomów, perspektywy przeżycia tego ciała lub mózgu byłyby marne. Aby uniknąć narażenia na takie zjawisko, podkreślił Schrödinger, ciała i mózgi zbudowane są z ogromnych zbiorów atomów, które mogą utrzymać swe wysoce skoordynowane funkcjonowanie, nawet gdy pewne atomy losowo nie spełnią swych funkcji. Celem Schrödingera nie było więc ukazanie życia błąkającego się w obrębie pojedynczego atomu, ale na podstawie wiedzy o atomach zamierzał on dać na gruncie fizyki wyjaśnienie, jak z dużego ich zbioru można uzyskać coś, co żyje. Jego zdaniem były to rozległe poszukiwania, które prawdopodobnie wymagałyby od nauki sformułowania nowych koncepcji. Istotnie, w epilogu *Czym jest życie?* Schrödinger zdziwił czytelników (i stracił pierwszego wydawcę), wspominając bowiem zagadnienie świadomości, powołał się na hinduskie Upaniszady, sugerując, że wszyscy jesteśmy częścią „wszechobecnej i wszechobejmującej jaźni

wiecznej", a wolna wola, którą każdy z nas ma, odzwierciedla nasze boskie moce[52].

Chociaż mój pogląd na wolną wolę różni się od poglądu Schrödingera (jak zobaczymy w rozdziale 5), ale też z sympatią odnoszę się do jak najszerzej pojętych wyjaśnień. Głębokie tajemnice domagają się wyjaśnienia przez zagnieżdżone opowieści. Najbogatszą wiedzę uzyskujemy, stosując różnorodne sposoby wyjaśniania zjawisk, czy to redukcjonizm, czy też emergentyzm lub metody matematyczne.

Opowieści zagnieżdżone

W ciągu ostatnich kilku stuleci fizyka dopracowała własny zbiór zagnieżdżonych opowieści, organizowanych według odległości, jakich każda z nich dotyczy. Jest to kluczowy element podejścia, które my, fizycy, bezustannie wpajamy naszym studentom. Aby zrozumieć, jak piłka bejsbolowa, chwilowo zdeformowana przez gwałtowne uderzenie kija Mike'a Trouta, wraca do swojego kulistego kształtu, należy przeanalizować jej strukturę molekularną. To właśnie w niej niezliczone oddziaływania międzycząsteczkowe wypychają na zewnątrz deformację i nadają piłce ruch po jej trajektorii. Jednakże ten molekularny punkt widzenia jest bezużyteczny dla zrozumienia tej trajektorii. Ogromna liczba danych niezbędnych dla śledzenia ruchu bilionów bilionów cząsteczek, gdy piłka szybuje nad ogrodzeniem lewego pola, byłaby całkowicie niezrozumiała. Gdy chodzi o trajektorię, należy przejść od obrazu molekularnego i badać ruch piłki jako całości. Trzeba teraz opowiadać związaną z tym historię na wyraźnie wyższym poziomie.

Przykład ilustruje proste, ale bardzo trafne spostrzeżenie: zadawane przez nas pytania determinują historie, które udzielają najbardziej użytecznych odpowiedzi. Jest to struktura narracyjna, która wykorzystuje jedną z najbardziej przypadkowych cech natury. W każdej skali Wszechświat jest spójny. Newton nie znał kwarków i elektronów, a mimo to, gdyby podać mu prędkość i kierunek piłki, kiedy Mike Trout uderzał ją kijem bejsbolowym, we śnie obliczyłby

jej trajektorię. Od czasów Newtona nastąpił postęp fizyki i udało się zbadać głębsze warstwy struktury świata, co znacznie uzupełniło nasze jego zrozumienie, ale opis na każdym poziomie ma sens sam w sobie. Gdyby na przykład zrozumienie ruchu piłki bejsbolowej wymagało uwzględnienia kwantowego zachowania jej cząsteczek, trudno byłoby dokonać postępu. Od dawna wezwaniem fizyki jest „dziel i zwyciężaj" – to strategia, która doprowadziła do jej triumfów.

Równie ważnym zadaniem jest synteza poszczególnych historii w jednolitą narrację. W przypadku fizyki cząstek i pól taką najbardziej wyrafinowaną syntezę stworzył Ken Wilson, za co otrzymał w 1982 roku Nagrodę Nobla[53]. Wilson opracował matematyczną procedurę analizy układów fizycznych w wielu różnych skalach odległości – na przykład od skali znacznie mniejszej niż badana w Wielkim Zderzaczu Hadronów do znacznie większych skal atomowych, które są analizowane od ponad stulecia, a następnie systematycznie łącząc opowieści, wyjaśnił, w jaki sposób każda z nich przekazuje ciężar narracji następnej, gdy skala wykracza poza jej dziedzinę. Metoda ta, zwana *grupą renormalizacyjną*, leży u podstaw współczesnej fizyki. Pokazuje ona, jak używane do analizy zjawisk fizyki w jednej skali odległości język, ramy pojęciowe i równania muszą ulegać zmianie, gdy przechodzimy do innej skali odległości. Używając tej metody zagnieżdżonego zbioru odrębnych opisów i określając, w jaki sposób każdy z nich przekazuje informacje innym, które go okalają, fizycy dokonali szczegółowych przewidywań, które zostały potwierdzone w wielu eksperymentach i obserwacjach.

O ile technika Wilsona jest dostosowana do narzędzi matematycznych współczesnego fizyka cząstek elementarnych (mechanika kwantowa i jej uogólnienie, kwantowa teoria pola), o tyle nadrzędna realizacja ma szerokie zastosowanie. Istnieje wiele sposobów rozumienia świata. W tradycyjnie pojmowanej nauce fizyka zajmuje się cząstkami elementarnymi i ich rozmaitymi połączeniami, chemia – atomami i cząsteczkami, a biologia życiem. Ta kategoryzacja, wciąż jeszcze aktualna, ale gdy byłem studentem o wiele bardziej znacząca, zapewnia rozsądne, jeśli nie zgrubne rozgraniczenie dziedzin naukowych według skali odległości. Jednak

ostatnio im dokładniej badacze zgłębiają zagadnienie, tym bardziej zdają sobie sprawę z tego, że krzyżowanie się dyscyplin naukowych jest niezbędne. Dyscypliny naukowe nie są hermetyczne. A gdy zainteresowanie przenosi się z życia na życie inteligentne, to kluczowe dla zagadnienia stają się jeszcze inne dyscypliny mające ze sobą związek – językoznawstwo, literatura, filozofia, historia, sztuka, mitologia, religia, psychologia i tak dalej. Nawet zagorzały redukcjonista zda sobie sprawę, że bardziej bezmyślne niż wyjaśnienie trajektorii piłki bejsbolowej za pomocą ruchu jej molekuł byłoby tylko podobne mikroskopowe wyjaśnienie tego, co czuł pałkarz, gdy miotacz, zastosowawszy swoją sztuczkę, rzucił w jego kierunku szybką piłkę, a tłum zaryczał. Zamiast tego historia opowiedziana w języku ludzkiej refleksji da nam znacznie lepszy wgląd. Niemniej jednak – i to jest kluczowe – te lepiej dopasowane historie na ludzkim poziomie muszą być zgodne z podejściem redukcjonistycznym. Jesteśmy istotami fizycznymi podlegającymi prawom fizyki. I dlatego niewiele można zyskać z fizykami krzyczącymi, że to oni dysponują najbardziej fundamentalnym wyjaśnieniem, lub humanistami drwiącymi z nieposkromionej pychy redukcjonizmu. Głębsze zrozumienie uzyskuje się przez scalenie historii każdej dyscypliny w subtelną wielowarstwową narrację[54].

W tym rozdziale będziemy stać na gruncie redukcjonizmu, a w kolejnych rozdziałach zaprzęgniemy komplementarną wrażliwość humanistyczną do badania życia i umysłu. Omówimy tu pochodzenie atomowych i molekularnych składników niezbędnych dla życia, pochodzenie jednego szczególnego środowiska – Ziemi i Słońca – w którym składniki te połączyły się w tak odpowiedni sposób, że życie mogło powstać i rozkwitnąć, a także zbadamy głęboką jedność życia na Ziemi, analizując niektóre ze zdumiewających mikrofizycznych struktur i procesów wspólnych dla wszystkiego, co jest żywe[55]. Chociaż nie odpowiemy na pytanie o pochodzenie życia (wciąż jest to zagadka), to zobaczymy, że wszystko, co na Ziemi żyje, można sprowadzić do wspólnego, jednokomórkowego przodka, co nauka o pochodzeniu życia będzie musiała ostatecznie wyjaśnić. To doprowadzi nas do badania życia z perspektywy termodynamicznej rozwiniętej w poprzednich rozdziałach, dając do

zrozumienia, że żywe istoty łączy głębokie pokrewieństwo nie tylko ze sobą nawzajem, lecz także z gwiazdami i silnikami parowymi: życie jest jeszcze jednym środkiem, który Wszechświat wykorzystuje do uwolnienia potencjału entropii zawartej wewnątrz materii.

Moim celem nie jest przekazanie wiedzy encyklopedycznej, ale pokazanie wystarczającej liczby szczegółów, abyście mogli poczuć rytmy natury, wyraźne schematy rozgrywające się od Wielkiego Wybuchu do życia na Ziemi.

Pochodzenie pierwiastków

Rozdrobnij wszystko, co wcześniej było żywe, rozdziel na części jego skomplikowaną maszynerię molekularną, a znajdziesz obfitość sześciu rodzajów atomów: węgla, wodoru, tlenu, azotu, fosforu i siarki, tego samego zbioru pierwiastków, które studenci czasami określają akronimem SPONCH (nie mylić z meksykańską pianką żelową o tej samej nazwie). Skąd pochodzą te tworzące życie składniki atomowe? Odpowiedź stanowi jeden z największych sukcesów współczesnej kosmologii.

Przepis na budowę każdego atomu, nawet najbardziej złożonego, jest prosty. Złączyć odpowiednią liczbę protonów z odpowiednią liczbą neutronów, upchać je w ciasną kulę (jądro), otoczyć elektronami w liczbie równej liczbie protonów, tak aby krążyły po orbitach spełniających reguły fizyki kwantowej. To wszystko. Wyzwanie polega na tym, że w odróżnieniu od klocków Lego składniki atomowe nie zatrzaskują się ze sobą tak po prostu. Wzajemnie silnie się odpychają lub przyciągają, co sprawia, że składanie jąder jest trudnym zadaniem. A szczególnie protony mają ten sam dodatni ładunek elektryczny, a więc potrzeba ogromnego ciśnienia i temperatury, aby przezwyciężyć ich wzajemne odpychanie elektromagnetyczne i zbliżyć je na tyle blisko, aby silne oddziaływanie jądrowe zamknęło cząstki w potężnym subatomowym uścisku.

Warunki, jakie powstały bezpośrednio po Wielkim Wybuchu, były bardziej ekstremalne niż cokolwiek, co kiedykolwiek napotkano,

a więc wydawałoby się, że jest to środowisko właściwe do przezwyciężania odpychania elektromagnetycznego i tworzenia jąder atomowych. W fenomenalnie gęstej i energetycznej miksturze zderzających się protonów i neutronów, jak można przypuszczać, powstaną w sposób naturalny skupiska, w których mogłaby zachodzić synteza układu okresowego, atom po atomie. To właśnie pod koniec lat czterdziestych XX wieku wraz ze swym magistrantem Ralphem Alpherem zasugerował George Gamow (radziecki fizyk, którego pierwsza próba ucieczki w 1932 roku miała polegać na przepłynięciu Morza Czarnego kajakiem zapełnionym kawą i czekoladą).

Częściowo mieli rację, ale był jeden kruczek. Zorientowali się, że w najwcześniejszych chwilach temperatura Wszechświata była zbyt wysoka. Przestrzeń została zalana wysokoenergetycznymi fotonami, które rozsadzałyby rodzące się połączenia protonów i neutronów. Ponadto, jak zdali sobie sprawę, mniej więcej półtorej minuty później – to długi odcinek czasu z uwagi na zawrotną prędkość, z jaką rozwijał się wczesny Wszechświat – sytuacja się zmieniła. Do tego czasu temperatura spadła na tyle, że typowe energie fotonów nie przytłaczają już silnego oddziaływania jądrowego, pozwalając w końcu na utrzymanie się połączeń protonów i neutronów.

Drugi kruczek, który stał się oczywisty później, to fakt, że skomplikowany proces budowy złożonych atomów wymaga czasu. Wymaga też serii konkretnych kroków, gdy określone liczby protonów i neutronów stapiają się w rozmaite skupiska, które następnie szczęśliwym trafem muszą napotkać inne dopełniające je skupiska i scalić się z nimi i tak dalej. Podobnie jak w wyśmienitym przepisie kulinarnym, zasadnicza jest kolejność łączenia składników. A to, co sprawia, że proces ten jest szczególnie trudny, to fakt, że niektóre pośrednie skupiska są niestabilne, co oznacza, że po uformowaniu mają tendencję do szybkiego rozpadu, zaburzając kulinarne przygotowania i spowalniając syntezę atomów. Przeszkoda ta jest duża, ponieważ stale zmniejszająca się temperatura i gęstość podczas szybkiego rozszerzania się wczesnego Wszechświata oznacza, że okno możliwości fuzji szybko się zamyka. Po mniej

więcej dziesięciu minutach od stworzenia temperatura i gęstość spadły poniżej progu wymaganego dla procesów jądrowych[56].

Kiedy te rozważania przedstawić ilościowo, co zainicjował Alpher w swojej rozprawie doktorskiej i dopracowało wielu badaczy, okazuje się, że bezpośrednio po Wielkim Wybuchu zostało zsyntetyzowanych tylko kilka pierwszych pierwiastków z tablicy Mendelejewa. Matematyka pozwala nam ustalić ich względną obfitość: około 75 procent wodoru (jeden proton w jądrze), 25 procent helu (dwa protony, dwa neutrony) oraz śladowe ilości deuteru (ciężki wodór z jednym protonem i jednym neutronem), helu-3 (lekka forma helu z dwoma protonami i jednym neutronem) i litu (trzy protony, cztery neutrony)[57]. Szczegółowe obserwacje astronomiczne obfitości atomów potwierdziły, że te proporcje są dobrze trafione, co oznaczało wielki triumf matematyki i fizyki w wyjaśnianiu szczegółowych procesów, które zachodziły w ciągu kilku minut po Wielkim Wybuchu.

A co z bardziej złożonymi atomami, takimi jak te niezbędne dla życia? Sugestie co do ich pochodzenia sięgają lat dwudziestych. Brytyjski astronom sir Arthur Eddington (który na pytanie, jak to jest znaleźć się wśród trzech osób na świecie rozumiejących ogólną teorię względności Einsteina, dał słynną odpowiedź: „Próbuję się domyślić, kim jest ta trzecia osoba") wpadł na właściwy pomysł: płonące wnętrza gwiazd mogą być kosmicznymi wolnowarami gotującymi powoli bardziej złożone atomy. Propozycja była rozważana przez wielu genialnych fizyków, w tym laureata Nagrody Nobla Hansa Bethe (mój pierwszy gabinet znajdował się obok jego pracowni i zawsze o szesnastej słyszałem donośne kichanie) i Freda Hoyle'a, który na jej podstawie opracował najbardziej dojrzały mechanizm fizyczny. Hoyle w 1949 roku, występując w popularnonaukowej audycji Radia BBC, lekceważąco odniósł się do Wszechświata stworzonego „w jednym wielkim wybuchu"[58]; w ten sposób całkiem nieświadomie nadał zjawisku najtrafniejszą nazwę, która od tego momentu przyjęła się w nauce.

W porównaniu z karkołomnym tempem zmian w bezpośrednim następstwie Wielkiego Wybuchu gwiazdy zapewniają stabilne środowisko, które może przetrwać miliony, jeśli nie miliardy lat.

Niestabilność poszczególnych skupisk pośrednich też spowalnia ciąg fuzji w gwiazdach, ale kiedy czasu jest pod dostatkiem, to i tak zadanie będzie wykonane. Zatem, w przeciwieństwie do Wielkiego Wybuchu w gwiazdach po syntezie jąder wodoru w hel, historii daleko jeszcze do końca. Gwiazdy, które są wystarczająco masywne, będą nadal scalać jądra razem w bardziej złożone jądra atomów układu okresowego, wytwarzając przy tym znaczne ilości ciepła i światła. Na przykład gwiazda, której masa jest dwadzieścia razy większa od masy Słońca, spędzi pierwsze osiem milionów lat na łączeniu wodoru z helem, a następnie kolejny milion lat poświęci na łączenie helu w węgiel i tlen. Od tego momentu, wraz z rosnącą temperaturą jądra, taśma przenośnika nieustannie zwiększa obroty: około tysiąca lat później gwiazda spala cały zapas węgla, łącząc go w sód i neon; w ciągu następnych sześciu miesięcy w wyniku dalszej fuzji powstaje magnez, w następnym miesiącu siarka i krzem, a w ciągu zaledwie dziesięciu dni fuzja spala pozostałe atomy, wytwarzając żelazo[59].

Nie bez powodu zatrzymamy się na żelazie. Protony i neutrony w jądrze żelaza są najsilniej związane w odróżnieniu od innych pierwiastków. To ma znaczenie. Jeśli spróbujesz zbudować jeszcze cięższe atomy, wtłaczając dodatkowe protony i neutrony, to okaże się, że jądra żelaza odmówią współpracy. Nuklearny niedźwiedzi uścisk skupił w żelazie 26 protonów i 30 neutronów, które uwolniły już tyle energii, ile fizycznie było możliwe. Dodanie protonów i neutronów wymaga wkładu energii netto, a nie jej uwolnienia. W rezultacie gdy docieramy do żelaza, produkcja większych i bardziej złożonych atomów w wyniku fuzji w gwiazdach zostaje wstrzymana wraz z towarzyszącym temu wydzielaniem ciepła i światła. Tak jak popiół, który opadł do paleniska kominka, żelaza nie da się już dalej spalać.

Co zatem ze wszystkimi atomami o jeszcze masywniejszych jądrach, takimi jak praktyczna miedź, rtęć i nikiel, cennymi, jak srebro, złoto i platyna, oraz tak egzotycznymi i masywnymi, jak rad, uran i pluton?

Uczeni zidentyfikowali dwa źródła tych pierwiastków. Kiedy jądro gwiazdy składa się głównie z żelaza, reakcje syntezy nie wytwarzają

już energii i ciśnienia, które są niezbędne do przeciwstawienia się zapadaniu grawitacyjnemu do wewnątrz. Gwiazda zaczyna się kurczyć. Jeśli jest ona wystarczająco masywna, ta zapaść prowadzi do implozji tak silnej, że temperatura jej rdzenia nagle skacze w górę. Implodująca materia odbija się od rdzenia i wyzwala ogromną falę uderzeniową w kierunku powierzchni. A fala ta, odbijając się od rdzenia w kierunku powierzchni gwiazdy, ściska jądra atomowe, które napotyka po drodze, i w wyniku tego powstają większe skupiska jąder. W warunkach tak chaotycznego ruchu cząstek mogą zostać zsyntetyzowane wszystkie cięższe pierwiastki układu okresowego, a gdy fala uderzeniowa w końcu dotrze do powierzchni gwiazdy, wystrzeli w kosmos bogatą różnorodnością atomów.

Drugim źródłem ciężkich pierwiastków są gwałtowne zderzenia gwiazd neutronowych, ciał niebieskich powstających po śmierci gwiazd, których masa była od około dziesięciu do trzydziestu razy większa od masy Słońca. Te gwiazdy neutronowe składają się głównie z neutronów – cząstek kameleonów, które mogą przekształcać się w protony – będących dobrym znakiem dla tworzenia jąder atomowych z uwagi na mnóstwo odpowiedniego surowca. Jedną z przeszkód jest jednak to, że aby utworzyć jądra atomowe, neutrony muszą uwolnić się od potężnego grawitacyjnego uścisku gwiazdy. To właśnie wtedy przydają się zderzenia gwiazd neutronowych. Zderzenie może rozrzucić ogromną liczbę neutronów, które nie mając ładunku elektrycznego, a tym samym nie doświadczając odpychania elektromagnetycznego, łatwiej łączą się w grupy. Gdy już niektóre z tych neutronów niczym kameleony staną się protonami (uwalniając w tym procesie elektrony i antyneutrina), uzyskujemy źródło złożonych jąder atomowych. W 2017 roku zderzenia gwiazd neutronowych przestały być modelem teoretycznym i stały się faktem obserwacyjnym, kiedy astronomowie wykryli wytwarzane w tym procesie fale grawitacyjne (tuż po pierwszych falach grawitacyjnych zaobserwowanych na skutek zderzenia dwóch czarnych dziur). Mnóstwo analiz wykazało, że dzięki zderzeniom gwiazd neutronowych produkcja cięższych pierwiastków jest wydajniejsza i obfitsza niż w eksplozjach supernowych, a więc

może być tak, że większość ciężkich pierwiastków we Wszechświecie została wyprodukowana przez te astrofizyczne kolizje.

Syntetyzowane w gwiazdach i wyrzucane w eksplozjach supernowych lub wyrzucane w wyniku zderzeń gwiazd i łączone w smugach cząstek pierwiastki unoszą się w przestrzeni, gdzie wirują razem i zbierają się w duże obłoki gazu, które w końcu skupiają się w gwiazdy i planety, a ostatecznie w nas. Takie jest pochodzenie składników tworzących wszystko to, co kiedykolwiek napotkaliście.

Pochodzenie Układu Słonecznego

Mające nieco ponad cztery i pół miliarda lat Słońce jest kosmicznym nowicjuszem. Nie należało ono do pierwszej generacji gwiazd we Wszechświecie. Jak pisałem w rozdziale 3, te gwiezdne trajektorie pochodzą z kwantowych zmian w gęstości materii i energii, które zostały rozciągnięte w przestrzeni przez ekspansję inflacyjną. Symulacje komputerowe tych procesów ujawniają, że pierwsze gwiazdy zapaliły się około stu milionów lat po Wielkim Wybuchu i były jak mamuty względem nas; setki, a może nawet tysiące razy masywniejsze od Słońca, płonące z taką intensywnością, że szybko wymarły. Najcięższe zakończyły swoje życie w grawitacyjnej implozji tak silnej, że skurczyły się aż do czarnych dziur, ekstremalnych konfiguracji materii, które będą głównym przedmiotem zainteresowania w dalszej części naszej opowieści. Mniej masywne wczesne gwiazdy zakończyły swoje życie ognistą eksplozją supernowej, która, poza rozsianiem w przestrzeni złożonych atomów, zapoczątkowała kolejną rundę tworzenia się gwiazd. Podobnie jak przebijająca się ku powierzchni gwiazdy fala uderzeniowa supernowej siłą rzeczy dokonuje fuzji jądrowej jej składników atomowych, fala uderzeniowa przebijająca się przez przestrzeń dokonuje kompresji napotkanych obłoków pyłu i gazu. A ponieważ ściśnięte obszary są gęstsze, wywierają większe przyciąganie grawitacyjne na swoje otoczenie, wciągają jeszcze więcej gazu i pyłu i rozpoczynają nową rundę grawitacyjnej kuli śnieżnej prowadzącej do powstania następnego pokolenia gwiazd.

Na podstawie składu chemicznego Słońca – określonego spektroskopowymi pomiarami liczby zawartych w nim różnych ciężkich pierwiastków – heliofizycy uważają, że jest ono wnukiem pierwszych gwiazd Wszechświata, narybkiem trzeciej generacji. Panuje wiele niepewności co do tego, gdzie pierwotnie Słońce powstało. Jednym z badanych kandydatów jest region znany jako Messier 67, oddalony o mniej więcej trzy tysiące lat świetlnych, w którym znajduje się gromada gwiazd mających składy chemiczne podobne do składu Słońca, co sugeruje bliskie pokrewieństwo. Wyzwaniem, wciąż nierozwiązanym, jest wyjaśnienie, w jaki sposób Słońce i planety Układu Słonecznego (lub dysk protoplanetarny, z którego planety te miałyby się utworzyć) zostały wyrzucone z tego odległego żłobka gwiezdnego i wyemigrowały tutaj. Niektóre badania nad potencjalnymi trajektoriami kończą się wnioskiem, że nie ma praktycznie żadnej szansy na to, by Messier 67 był miejscem narodzin Słońca, podczas gdy inne, przywołując różne zmodyfikowane założenia, przyniosły bardziej zachęcające wyniki[60].

Z większą pewnością możemy powiedzieć, że około 4,7 miliarda lat temu fala uderzeniowa supernowej przetoczyła się prawdopodobnie przez obłok zawierający wodór, hel i niewielkie liczby bardziej złożonych atomów, ściskając jego część, która stając się gęstsza od otoczenia, wywierała silniejsze przyciąganie grawitacyjne i tym samym zaczęła wciągać otaczającą ją materię do swego środka. Przez następne kilkaset tysięcy lat ten obszar obłoku gazowego nadal się kurczył, początkowo obracając się powoli, a potem szybciej, jak wdzięczna łyżwiarka składająca ramiona podczas wirowania. I tak jak wirująca łyżwiarka doświadcza siły odśrodkowej, która rozczapierza wszelkie luźne frędzle na jej kostiumie, podobnie wirujący obłok rozprzestrzenia i spłaszcza swoje zewnętrzne rejony, zmieniając je w wirujący dysk, który otacza mniejszy kulisty obszar w samym środku. W ciągu następnych pięćdziesięciu do stu milionów lat w gazowym obłoku powoli i równomiernie ujawniała swe działanie dwuetapowość grawitacyjnej entropii omawiana w rozdziale 3: siła grawitacji ściskała kulisty rdzeń obłoku, który stawał się coraz gorętszy i gęstszy, podczas gdy otaczający go materiał chłodził się i rozrzedzał. Entropia rdzenia zmniejszała się; entropia otoczenia

zrekompensowała ten spadek z nadwyżką. Ostatecznie temperatura i gęstość rdzenia przekroczyła próg zapłonu dla syntezy jądrowej.

Narodziło się Słońce.

W ciągu następnych kilku milionów lat detryt pozostały po formacji Słońca, stanowiący zaledwie kilka dziesiątych procent oryginalnego wirującego dysku, w licznych przypadkach grawitacyjnej kuli śnieżnej uległ koalescencji do postaci planet Układu Słonecznego. Lżejsze i bardziej lotne substancje, takie jak wodór i hel, a także metan, amoniak i woda, podatne na destrukcyjne działanie intensywnego promieniowania słonecznego, nagromadziły się obficiej w chłodniejszych zewnętrznych rejonach Układu Słonecznego, tworząc gazowe giganty, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun. Cięższe i bardziej wytrzymałe składniki, takie jak żelazo, nikiel i aluminium, które lepiej znosiły gorętsze środowisko Słońca, zebrały się w mniejszych skalistych planetach wewnętrznych, Merkurym, Wenus, Ziemi i Marsie. Będąc znacznie mniej masywne niż Słońce, planety są w stanie utrzymać swoją skromną masę dzięki naturalnej odporności atomów na ściskanie. Temperatura rdzenia i ciśnienie wewnątrz planet wzrastają, ale nie osiągają wielkości niezbędnych do zapoczątkowania syntezy jądrowej. Tak powstały stosunkowo umiarkowane środowiska, które umożliwiają egzystencję zarówno naszej formie życia, jak i być może całemu życiu we Wszechświecie.

Młoda Ziemia

Pierwsze pół miliarda lat Ziemi określa się mianem hadeiku, aby przypisać greckiemu bogu podziemi piekielną erę szalejących wulkanów, tryskających roztopioną skałą i trującymi gęstymi oparami siarki i cyjanku. Niektórzy naukowcy podejrzewają teraz, że kandydatem do roli władcy młodej ziemi mógłby być raczej Posejdon. Wciąż dyskutowana kwestia tak gwałtownej zmiany opiera się na dowodach, które są bardziej mikroskopijne niż drobinki pyłu. Chociaż brakuje nam próbek skał z tej wczesnej ery, naukowcy zidentyfikowali pradawne półprzezroczyste drobiny – *kryształy cyrkonu* – które powstały, gdy wczesna ziemska lawa ostygła i się

zestaliła. Kryształy cyrkonu okazują się kluczowe dla zrozumienia wczesnego rozwoju Ziemi, ponieważ nie tylko są praktycznie niezniszczalne, przetrwały miliardy lat geologicznego maltretowania, ale także działają jak miniaturowe kapsuły czasu. Kiedy się tworzą, wchłaniają ze środowiska domieszki molekularne, których wiek możemy oznaczyć standardowym datowaniem radioaktywnym. Analizując dokładnie domieszki w kryształkach cyrkonu, określamy warunki panujące na archaicznej Ziemi.

W Australii Zachodniej znaleziono kryształy cyrkonu datowane na 4,4 miliarda lat temu, z okresu zaledwie kilkuset milionów lat po powstaniu Ziemi i Układu Słonecznego. Analizując ich szczegółowy skład, naukowcy zasugerowali, że panujące wówczas warunki mogły być dużo bardziej przyjazne, niż sądzono wcześniej. Wczesna Ziemia mogła być stosunkowo spokojnym wodnym światem, z powierzchnią pokrytą oceanem usianym małymi wyspami lądu[61].

Nie znaczy to, że historia Ziemi nie miała swoich momentów płomiennego dramatu. Mniej więcej pięćdziesiąt do stu milionów lat po jej narodzinach prawdopodobnie zderzyła się z planetą zwaną Theia, mającą wielkość Marsa, co spowodowało wyparowanie ziemskiej skorupy, unicestwienie Thei i wyrzucenie w przestrzeń chmury pyłu i gazu na odległość tysięcy kilometrów. Z czasem chmura ta skupiła się pod wpływem grawitacji, tworząc Księżyc, jeden z większych satelitów w Układzie Słonecznym, który nocą przypomina o tym gwałtownym zdarzeniu. Kolejne przypomnienie stanowią pory roku. Przeżywamy gorące lata i mroźne zimy, ponieważ oś Ziemi jest nachylona do płaszczyzny orbity, co wpływa na kąt padania promieni słonecznych na powierzchnię: zimą są zwrócone bardziej skośnie do powierzchni niż latem. Zderzenie z Theią jest prawdopodobną przyczyną nachylenia osi Ziemi. I choć to mniej sensacyjne niż zderzenie planet, to w istnieniu zarówno Ziemi, jak i Księżyca były okresy, gdy dostawały one srogie cięgi od mniejszych meteorytów. Na Księżycu brak erozyjnych wiatrów i dlatego jego statyczna skorupa zachowała blizny, ale lanie, jakie otrzymała Ziemia, teraz mniej widoczne, było równie dotkliwe. Niektóre wczesne uderzenia mogły częściowo lub nawet całkowicie odparować całą wodę z jej powierzchni. Pomimo tego archiwa

cyrkonowe dostarczają dowodów, że w ciągu kilkuset milionów lat swojego powstawania Ziemia mogła ochłodzić się na tyle, aby para atmosferyczna skropliła się w formę deszczu, wypełniła oceany i powstał ląd nie tak bardzo odmienny od tego, który znamy. I to przynajmniej jeden wniosek, który można wyciągnąć z badania kryształów.

Pytanie, jak długo Ziemia stabilizowała swoje warunki i wytwarzała obfitość wody – bez względu na to, czy są to setki milionów lat, czy też znacznie dłuższy okres – dalej jest przedmiotem intensywnych dyskusji, ponieważ może to wyjaśnić, kiedy po raz pierwszy w naszej geologicznej historii pojawiło się życie. Chociaż z całą pewnością nie da się stwierdzić, że tam, gdzie jest woda w stanie płynnym, tam jest życie, to możemy powiedzieć z pewną dozą pewności, że w warunkach braku płynnej wody nie ma życia, przynajmniej takiego, jakie znamy.

Przekonajmy się dlaczego.

Życie, fizyka kwantowa i woda

Woda zalicza się do najbardziej znanych i ważnych substancji w przyrodzie. Jej skład cząsteczkowy, H_2O, stał się dla chemii tym, czym $E = mc^2$ Einsteina jest dla fizyki, najbardziej znaną formułą przedmiotu. Szczegółowo badając tę formułę, uzyskujemy wgląd w charakterystyczne własności wody i rozwijamy niektóre kluczowe aspekty programu Schrödingera, w którym chodzi o zrozumienie życia na poziomie zjawisk fizyki i chemii.

W połowie lat dwudziestych wielu czołowych fizyków na całym świecie wyczuwało, że powszechnie uznany porządek jest na skraju radykalnego przewrotu. Idee newtonowskie, których przewidywania dotyczące ruchu orbitujących planet i lotu skał ustanowiły na wieki złoty standard dokładności, zawodziły żałośnie, gdy były zastosowane do maleńkich cząstek, takich jak elektrony. Gdy z mikroświata kipiały nieposłuszne względem przyjętych standardów dane, spokojne morze newtonowskiej fizyki stało się burzliwe. Fizycy szybko znaleźli się w trudnej sytuacji, próbując utrzymać się na

powierzchni. Gdy po wyczerpującej nocy intensywnych obliczeń z Nielsem Bohrem Werner Heisenberg bez celu przechadzał się po pustym parku w Kopenhadze, jego mamrotane pod nosem lamenty dobrze podsumowywały sytuację: „Czy natura może być aż tak absurdalna, jak na to wygląda w tych atomowych eksperymentach?”[62]. Odpowiedź, zdecydowane „tak”, przyszła w 1926 roku od skromnego niemieckiego fizyka, Maxa Borna, który przełamał koncepcyjny impas, wprowadzając nowy radykalny paradygmat kwantowy. Argumentował on, że znalezienie elektronu (lub jakiejkolwiek cząstki) w danym miejscu da się opisać tylko w kategoriach *prawdopodobieństwa*. Za jednym zamachem znany newtonowski świat, w którym obiekty zawsze mają określone położenie, ustąpił miejsca kwantowej rzeczywistości, w której cząstka może być tu lub tam albo jeszcze gdzie indziej. A teraz nieokreśloność właściwa dla probabilistycznych schematów ujawniła wrodzoną cechę kwantowej rzeczywistości, od dawna pomijaną przez bardzo wnikliwe, ale wyraźnie grubo ciosane ramy newtonowskiej fizyki. Newton opierał swoje równania na świecie, który obserwował. Kilkaset lat później dowiedzieliśmy się, że istnieje nieoczekiwana rzeczywistość, która znajduje się poza zasięgiem naszego ludzkiego postrzegania.

Postulat Borna cechowała matematyczna precyzja[63]. Born wyjaśnił, że do obliczenia prawdopodobieństwa kwantowego można użyć równania, które Schrödinger opublikował kilka miesięcy wcześniej. Dla Schrödingera była to nowina i dla wszystkich innych też, ale gdy fizycy zastosowali wytyczne Borna, odkryli, że matematyka działa. I to tak spektakularnie. Dane, które wcześniej podciągano pod doraźnie wymyślane zasady lub które wydawały się całkowicie odporne na wyjaśnienia, można w końcu było zrozumieć dzięki systematycznym analizom matematycznym.

Gdy zastosowano je do atomów, kwantowe podejście zastąpiło stary „model pseudoplanetarny”, który przedstawiał elektrony krążące wokół jądra jak planety orbitujące wokół Słońca. W mechanice kwantowej elektron wyobrażany jest jako otaczająca jądro rozmyta chmura, której gęstość w danym miejscu wskazuje na prawdopodobieństwo znalezienia tam elektronu. Jest mało

prawdopodobne, aby elektron znalazł się tam, gdzie jego chmura prawdopodobieństwa jest rzadka, prawdopodobnie będzie tam, gdzie jego chmura prawdopodobieństwa jest gęsta.

Równanie Schrödingera czyni ten opis matematycznie wyraźnym, określając kształt i profil gęstości chmury prawdopodobieństwa elektronu, jak również ustalając – i dla naszej obecnej dyskusji jest to klucz – dokładnie, ile elektronów w danym atomie może pomieścić taka chmura[64]. Szczegóły szybko stają się matematycznie skomplikowane, ale aby uchwycić istotne cechy, pomyślmy o jądrze atomu jak o scenie centralnej i jego elektronach jak o publiczności, która obserwuje akcję z siedzeń umieszczonych wokół sceny wielopoziomowo. W tym „kwantowym teatrze" zastosowana do atomów matematyka Schrödingera dyktuje, jak elektronowa publiczność wypełnia amfiteatr.

Podobnie do wchodzenia po schodach w prawdziwym amfiteatrze, im wyższa kondygnacja krzeseł, tym więcej energii potrzebuje elektron, aby do niej dotrzeć. Kiedy więc atom jest możliwie najspokojniejszy, znajduje się w konfiguracji o najniższej energii, jego elektrony tworzą najbardziej uporządkowaną widownię, wypełniając wyższy poziom tylko wtedy, gdy niższe poziomy są już zapełnione. W atomie mającym najniższą energię żaden z elektronów absolutnie nie wspina się wyżej, niż musi. Ile elektronów może zapełnić dany poziom? Matematyka Schrödingera daje na to odpowiedź, uniwersalny kod, który odnosi się do wszystkich teatrów kwantowych: na pierwszym poziomie mogą przebywać najwyżej dwa elektrony, osiem elektronów na drugim, osiemnaście na trzecim i tak dalej, jak wyznacza to równanie. Gdy do atomu zostanie dostarczona energia, powiedzmy, za pomocą lasera o dużej mocy, niektóre z jego elektronów mogą być wystarczająco wzbudzone, aby przeskoczyć na wyższy poziom, ale to wzbudzenie będzie krótkotrwałe. Wzbudzone elektrony szybko wracają do swojego pierwotnego poziomu, emitując energię (unoszoną przez fotony) i przywracając atom do jego najspokojniejszej konfiguracji[65].

Matematyka ujawnia również jeszcze jedną osobliwość, rodzaj atomowej nerwicy natręctw, która jest głównym napędem reakcji

chemicznych w całym kosmosie. Atomy mają awersję do poziomów, które są tylko częściowo zapełnione. Poziomy puste? Dobrze. Poziomy zapełnione? Dobrze. Ale częściowe zapełnienie? To doprowadza atomy do szału. Niektóre atomy mają szczęście, zawierają bowiem liczbę elektronów odpowiednią do osiągnięcia całkowitego zapełnienia własnym sumptem. Hel ma dwa elektrony, które zrównoważą ładunek elektryczny dwóch protonów i szczęśliwie wypełniają pierwszy poziom. Neon ma dziesięć elektronów, które zrównoważą ładunek elektryczny dziesięciu protonów i tak samo szczęśliwie wypełniają pierwszy poziom, mieszczący dwa elektrony, oraz drugi, przygarniający pozostałe osiem. Natomiast u większości atomów liczba elektronów potrzebna do zrównoważenia liczby protonów nie zapełnia całego zbioru poziomów[66].

Co zatem robią?

Prowadzą gospodarkę wymienną z innymi atomami. Jeśli mamy atom, który potrzebuje jeszcze dwóch elektronów do zapełnienia górnego poziomu, a w pobliżu jest taki mogący oddać mu dwa elektrony, to dokona się wymiana i każdy z nich będzie miał całkowicie zapełniony poziom. Zauważmy również, że akceptujący elektrony atom uzyskuje ujemny ładunek, a oddający elektrony ładunek dodatni – a ponieważ przeciwne ładunki się przyciągają, oba atomy tworzą elektrycznie neutralną cząsteczkę. Alternatywnie, jeśli na przykład oba atomy potrzebują jeszcze jednego elektronu do wypełnienia ich wyższych poziomów, to jest jeszcze inny rodzaj umowy: mogą przekazać jeden elektron do wspólnej puli, którą nawzajem się dzielą i – dzięki wiązaniu wspólnym elektronem – łączą się w elektrycznie neutralną cząsteczkę. Takie procesy, które zapełniają elektronami zewnętrzne warstwy chmury elektronowej, łącząc atomy razem, nazywamy reakcjami chemicznymi. To szablony takich reakcji zarówno tu na Ziemi, wewnątrz organizmów żywych, jak i w całym Wszechświecie.

Woda jest ważnym przykładem. Tlen zawiera osiem elektronów, dwa na poziomie pierwszym i sześć na poziomie drugim. Tlen dąży więc do uzyskania jeszcze dwóch, starając się wypełnić swój drugi poziom do maksymalnej liczby ośmiu elektronów. Jednym z łatwo dostępnych źródeł jest wodór. Każdy atom wodoru ma jeden

elektron, który unosząc się samotnie, zbija bąki na pierwszym poziomie. Jeżeli atom wodoru ma możliwość wypełnienia tego poziomu jeszcze jednym elektronem, to z przyjemnością to zrobi. Zatem wodór i tlen zgadzają się dzielić wspólną parą elektronów, w pełni zaspokajając wodór i zbliżając tlen o jeden elektron do osiągnięcia orbitalnej błogości. Dodajmy drugi atom wodoru, który podobnie dzieli parę elektronów wspólnie z tlenem, a wokół zapanuje zachwyt. Współdzielenie tych elektronów wiąże atom tlenu z dwoma atomami wodoru, dając początek cząsteczce wody, H_2O.

Geometria tego związku ma daleko idące konsekwencje. Międzyatomowa przepychanka kształtuje wszystkie cząsteczki wody w szerokie V, z tlenem w wierzchołku i wodorami obsadzonymi na obu górnych końcach litery. Chociaż H_2O nie ma ładunku elektrycznego netto, ponieważ tlen tak maniakalnie wypełnia swoje poziomy orbitalne, że gromadzi wspólne elektrony, co skutkuje rozkładem ładunku wewnątrz cząsteczki, która jest nachylona. Wierzchołek cząsteczki, dom tlenu, ma ładunek ujemny, podczas gdy dwie górne końcówki, w których mieszkają oba wodory, mają ładunek dodatni.

Rozkład ładunków elektrycznych w cząsteczce wody może wydawać się ezoterycznym szczegółem, ale tak nie jest. Okazuje się on niezbędny dla powstania życia. Z powodu nierównomiernego rozłożenia ładunków elektrycznych w cząsteczce wody woda może rozpuścić prawie wszystko. Ujemnie naładowany wierzchołek tlenu chwyta to, co ma nawet nieznaczny ładunek dodatni; dodatnio naładowane końcówki wodoru chwytają cokolwiek z nieznacznym ładunkiem ujemnym. W tandemie dwa końce cząsteczki wody działają jak naładowane elektrycznie pazury, które rozrywają większość tego, co jest zanurzone w wodzie dostatecznie długo.

Najbardziej znanym przykładem jest sól kuchenna. Złożona z atomu sodu związanego z atomem chloru cząsteczka soli stołowej ma niewielki ładunek dodatni w pobliżu sodu (który przekazuje elektron chlorowi) i niewielki ładunek ujemny w pobliżu chloru (który przyjmuje elektron z chloru). Wrzuć sól do wody, a strona tlenowa H_2O (naładowana ujemnie) uchwyci sód (naładowany dodatnio),

podczas gdy strona wodorowa H_2O (naładowana dodatnio) uchwyci chlor (naładowany ujemnie). Nastąpi rozerwanie cząsteczek soli i utworzenie roztworu. A to, co dzieje się z solą, dzieje się również z wieloma innymi substancjami. Szczegóły mogą być inne, ale asymetryczny rozkład ładunku wody sprawia, że jest ona niezwykłym rozpuszczalnikiem. Umyj ręce, nawet bez mydła, a polaryzacja elektryczna wody wykona zadanie, rozpuszczając i usuwając obce substancje z dłoni.

Woda jest nie tylko przydatna w higienie osobistej, ale także nieodzowna dla życia, gdy chodzi o wychwytywanie i przyswajanie substancji. Komórki biologiczne są miniaturowymi laboratoriami chemicznymi, których praca wymaga szybkiego przemieszczania ogromnej liczby składników: substancji odżywczych do wnętrza, odpadów na zewnątrz, składników chemicznych potrzebnych do syntezy substancji niezbędnych do funkcjonowania komórek itp. Woda sprawia, że jest to możliwe. Stanowiąc około 70 procent masy komórki, jest płynem transportowym życia. Albert Szent-Györgyi, laureat Nagrody Nobla, podsumował to wymownie: „Woda jest materią i matrycą życia, matką i medium. Nie ma życia bez wody. Życie mogło opuścić ocean wtedy, gdy umiało już wytwarzać skórę, worek, w którym mogło wodę zabrać ze sobą. Wciąż żyjemy w wodzie, mając ją teraz w środku”[67]. Można to potraktować jak poezję, pełną wdzięku odę do wody i życia. Nauka nie zna jeszcze żadnego dowodu, który potwierdzałby uniwersalność tego twierdzenia, ale nie znamy też żadnej innej formy życia, dla której woda byłaby zbędna.

Jedność życia

Dokonawszy przeglądu syntezy prostych i złożonych atomów, pochodzenia Słońca i Ziemi, natury reakcji chemicznych i niezbędności wody, jesteśmy teraz przygotowani, aby zająć się samym życiem. Choć może wydawać się naturalne, by zacząć od genezy życia, lecz zagadnieniem, tym wciąż nierozstrzygniętym, lepiej zająć się już po zapoznaniu z typowymi molekularnymi

właściwościami samego życia. A dla kogoś takiego jak ja, kto spędził ostatnie trzydzieści lat życia na pogoni za jednolitą teorią podstawowych oddziaływań natury, owa eksploracja ujawnia zachwycającą jedność biologiczną. Nie znamy dokładnej liczby odrębnych gatunków na Ziemi, od mikrobów do manatów, ale badania pozwoliły na sformułowanie przypuszczeń, które dolną granicę szacują na miliony, a górną na biliony. Niezależnie, jaka jest ta dokładna liczba, to jest ona ogromna. Bogactwo różnych gatunków daje jednak mylne wyobrażenie o osobliwej naturze wewnętrznych funkcji życia.

Zbadajcie wystarczająco dokładnie żywą tkankę, a natkniecie się na „kwanty" życia – komórki – najmniejsze jednostki tkanki, które zidentyfikowano jako żywe. Niezależnie od ich pochodzenia komórki mają tak wiele wspólnych cech, że niewprawne oko badające poszczególne okazy z trudem byłoby w stanie odróżnić mysz od mastifa, żółwia od tarantuli, muchę domową od człowieka. To niezwykłe. Z pewnością nasze komórki muszą mieć jakiś oczywisty i znamienny znak odróżniający. A jednak nie mają. Powodem, ustalonym w ciągu ostatnich kilku dekad, jest to, że każde złożone wielokomórkowe życie pochodzi od tego samego gatunku jednokomórkowych przodków. Komórki są podobne, ponieważ ich rodowody mają ten sam punkt wyjścia[68].

To bardzo ważne, aby zdać sobie z tego sprawę. Życie, mając tak liczne wcielenia, mogło mieć wiele różnych źródeł. Prześledzenie rodowodu mięczaka morskiego wstecz do początków gatunku mogłoby ujawnić jedno źródło wyjścia, podczas gdy to samo zadanie wykonane w odniesieniu do wombatów czy orchidei mogłoby ujawnić inne źródła. Dowody wyraźnie wskazują jednak na to, że gdy szukamy pochodzenia życia, rodowody zbiegają się do wspólnego przodka. Dwie wszechobecne cechy życia dowodzą, że sprawa staje się jeszcze bardziej przekonująca. Każda z nich ilustruje głębokie podobieństwa wspólne dla wszystkiego, co żyje. Pierwsza, bardziej znana, dotyczy *informacji*: jak komórki kodują i wykorzystują informacje kierujące funkcjami podtrzymującymi życie. Druga, równie ważna, ale mniej znana, dotyczy *energii*: w jaki sposób komórki zaprzęgają, przechowują i wykorzystują energię

potrzebną do wykonywania funkcji podtrzymujących życie. W obu przypadkach zobaczymy, że w całej rozpiętości skali życia na Ziemi szczegóły tych procesów są identyczne.

Jedność informacji o życiu

Jednym ze sposobów uznania, że królik jest żywy, jest jego widok, gdy się porusza. Oczywiście skała też może się poruszać. Silny nurt rzeki może zepchnąć ją w dół rzeki, a wybuch wulkanu – wyrzucić w chmury. Różnica polega na tym, że ruch skały można w pełni zrozumieć, a nawet przewidzieć, na podstawie działających na nią sił zewnętrznych. Opowiedz mi wystarczająco wiele o nurcie rzeki lub erupcji, a ja będę mógł dość dobrze określić, co się stanie. Przewidywanie ruchu królika jest trudniejsze. Aktywność w obrębie tego, co Schrödinger nazwał „granicą przestrzenną" królika – jego aktywnością wewnętrzną – jest decydującym czynnikiem mającym wpływ na ten ruch. Królik rusza nosem, obraca głową, porusza łapkami, a wszystko to sprawia, że wydaje się, iż ma własną wolę. To, czy królik lub jakakolwiek inna forma życia (łącznie z nami) rzeczywiście ma taką autonomiczną wolę, jest kwestią dyskutowaną od wieków, którą zajmiemy się w następnym rozdziale. Na razie wszyscy możemy się zgodzić, że o ile aktywność wewnętrzna skały nie ma praktycznie żadnego wpływu na jej obserwowany ruch, o tyle skoordynowane, złożone i samodzielnie wypracowywane ruchy królika wskazują na to, iż jest on żywy.

To nie jest niezawodna diagnoza. Zautomatyzowane układy mogą wykonywać ruchy podobnego rodzaju, a w miarę postępu technologicznego zdolność do naśladowania życia stanie się jeszcze doskonalsza. Służy to jednak tylko podkreśleniu szerszego zagadnienia: ruch tego rodzaju, który rozważamy, wynika z wzajemnej zależności między informacją i realizacją, z zależności między tym, co możemy nazwać oprogramowaniem i sprzętem. Dla zautomatyzowanego układu ten opis jest dosłowny. Drony, samochody i odkurzacze autonomiczne i tak dalej są sterowane za pomocą oprogramowania, które pobiera dane wejściowe

ze środowiska, a dane wyjściowe sterują pracą sprzętu, od skrzydeł po wirniki i koła. Dla królika taki opis jest metaforyczny. Niemniej jednak paradygmat programowo-sprzętowy również jest wielce użytecznym podejściem do zagadnienia życia. Królik gromadzi dane zmysłowe z otoczenia, przetwarza w „komputerze neuronowym" (mózgu), który następnie przez układ nerwowy wysyła informacje w formie sygnałów elektrycznych powodujących fizyczne działanie – królik zjada koniczynę, przeskakuje przez gałązki i tak dalej. Jego ruch wynika z wewnętrznego przetwarzania danych i przepływu przez fizyczną strukturę złożonego zestawu instrukcji; to takie biologiczne oprogramowanie sterujące biologicznym osprzętem. Tego typu procesy nie zachodzą w skale.

Jeśli zagłębimy się w pojedynczą komórkę królika, zobaczymy podobne zjawiska rozgrywające się w mniejszej skali. Zdecydowana większość funkcji komórki jest realizowana przez białka, duże cząsteczki będące katalizatorami i regulatorami reakcji chemicznych, które transportują niezbędne substancje i kontrolują poszczególne własności komórki, takie jak jej kształt i ruch. Białka są zbudowane z kombinacji 20 mniejszych podjednostek zwanych *aminokwasami*, tak jak angielskie słowa są budowane z kombinacji 26 liter alfabetu. I o ile sensowne słowa wymagają ułożenia liter w określonej kolejności, o tyle użyteczne białka wymagają, aby aminokwasy były połączone w określonych sekwencjach. Gdyby takie zestawienia pozostawić ślepemu losowi, to prawdopodobieństwo, że wymagane aminokwasy wpadną na siebie w odpowiedni dla zbudowania konkretnego białka sposób, byłoby prawie równe zeru. Staje się to oczywiste, gdy uzmysłowimy sobie liczbę sposobów, na jakie 20 różnych aminokwasów można połączyć w długi łańcuch: dla łańcucha ze 150 aminokwasów (małe białko) istnieje około 10^{195} różnych ułożeń, to wartość znacznie większa niż wyrażająca liczbę cząstek w obserwowalnym Wszechświecie. Podobnie jak przysłowiowy zespół małp przez dziesiątki lat piszący losowo litery nie będzie w stanie ułożyć nic więcej niż „Być albo nie być", stworzenie specyficznych białek potrzebnych do życia w wyniku losowego zdarzenia jest bardzo mało prawdopodobne.

Zamiast tego synteza złożonych białek wymaga zestawu instrukcji, które opisują krok po kroku taki proces – przyczep ten aminokwas do tego, a następnie przyczep do tego, a następnie do tego, a potem do tego i tak dalej. Synteza białek wymaga oprogramowania komórki. A w każdej komórce istnieją takie instrukcje. Są one zakodowane przez DNA, substancję chemiczną podtrzymującą życie, której geometria została odkryta przez Watsona i Cricka.

Każda cząsteczka DNA ma konfigurację podwójnej helisy, długiej poskręcanej drabiny, której szczeble składają się z par rozpórek, krótszych cząsteczek zwanych bazami, zwykle oznaczanych jako A, T, G i C (konkretne naukowe nazwy nie mają tu znaczenia, ale są to adenina, tymina, guanina i cytozyna). Osobniki należące do danego gatunku zwykle mają tę samą sekwencję liter. Dla ludzi sekwencja DNA ma długość około trzech miliardów liter, a twoja różni się od sekwencji Alberta Einsteina, Marii Skłodowskiej-Curie, Williama Szekspira lub kogokolwiek innego o mniej niż jedną czwartą procent, mniej więcej jedną literę na każdy ciąg 500 liter[69]. Chwaląc się posiadaniem genomu tak podobnego do genomu najbardziej szanowanych luminarzy (lub haniebnych złoczyńców), zauważ, że twoja sekwencja DNA w 99 procentach również pokrywa się z genomem każdego szympansa[70]. Drobne różnice genetyczne mogą mieć duży wpływ.

Przy konstruowaniu szczebli drabiny DNA bazy parują się ze sobą według ustalonej reguły: rozpórka A na jednej nici drabiny mocowana jest do rozpórki T na drugiej nici, rozpórka G na jednej nici mocowana zaś jest do rozpórki C na drugiej. W ten sposób sekwencja zasad z jednej strony drabiny jednoznacznie określa sekwencję z drugiej strony. I to właśnie w sekwencji liter znajdujemy, wśród innych ważnych informacji o komórce, instrukcje określające, które aminokwasy wiążą się ze sobą, kierując syntezę specyficznego dla danego gatunku zbioru białek niezbędnych dla tej formy życia.

Wszystkie formy życia kodują instrukcje dotyczące budowy białek w ten sam sposób[71]*.*

Oto instrukcja, jak działa ten molekularny kod Morse’a wbudowany na stałe we wszystkich formach życia. Grupy trzech kolejnych liter na

danej nici DNA oznaczają jeden konkretny aminokwas z grupy dwudziestu[72]. Na przykład sekwencja CTA oznacza aminokwas leucynę; sekwencja GCT oznacza inny, alaninę; sekwencja GTT oznacza walinę; i tak dalej. Powiedzmy, że badasz szczeble przymocowane do jednej nici segmentu DNA i odczytujesz dziewięcioliterową sekwencję CTAGCTGTT: to instrukcja dołączenia leucyny (pierwsze trzy litery, CTA) do alaniny (drugie trzy litery, GCT), którą następnie dołącza się do waliny (ostatnie trzy litery, GTT). Białko zbudowane z, powiedzmy, tysiąca połączonych aminokwasów byłoby zakodowane przez konkretną sekwencję trzech tysięcy liter (lokalizacja początkowa i końcowa każdej takiej sekwencji jest również zakodowana przez konkretną sekwencję trzyliterową, podobnie jak wielka litera i kropka oznaczająca początek i koniec tego zdania). Sekwencja taka tworzy *gen* – schemat instrukcji składania białka[73].

Szczegóły przedstawiłem z dwóch powodów. Po pierwsze, wizualizacja kodu wyjaśnia pojęcie oprogramowania komórkowego. Mając fragment DNA, możemy odczytać instrukcje, które kierują wewnętrznym mechanizmem działania komórki, wyrafinowaną koordynację całkowicie nieobecną w materii nieożywionej. Po drugie, ten kod pokazuje, co biolodzy mają na myśli, gdy nazywają go uniwersalnym. Każda cząsteczka DNA, czy to wodorostów, czy Sofoklesa, w ten sam sposób ma zakodowane informacje potrzebne do budowy białek.

To jest jedność informacji o życiu.

Jedność energii życia

Podobnie jak maszyna parowa, która potrzebuje stałego dopływu energii do poruszania tłokiem, życie też wymaga stałego dopływu energii do wykonywania podstawowych funkcji, od wzrostu i naprawy po ruch i reprodukcję. W przypadku maszyny parowej pobieramy energię z otoczenia. Spalamy węgiel, drewno lub inne paliwo, a wytworzone ciepło powoduje rozprężanie pary wodnej napędzającej wewnętrzny mechanizm maszyny. Żywe istoty również

pobierają energię z otoczenia. Zwierzęta uzyskują energię z pożywienia, rośliny ze światła słonecznego. W odróżnieniu od maszyny parowej życie na ogół nie wykorzystuje tej energii w jednym miejscu. Procesy życiowe, bardziej złożone niż sprężanie lub rozprężanie pary, wymagają bardziej wyrafinowanego systemu dostarczania i dystrybucji energii. Składniki komórki wymagają, aby istoty żywe energię ze spalanego paliwa stale i niezawodnie magazynowały i rozdzielały.

Wszystkie formy życia radzą sobie z uzyskiwaniem i dystrybucją energii w ten sam sposób[74].

Uniwersalne rozwiązanie, na jakie wpadło życie, skomplikowany ciąg procesów zachodzących właśnie teraz wewnątrz mnie i ciebie, i – o ile wiemy – we wszystkim innym, co żyje, należy do najbardziej zdumiewających osiągnięć natury. Życie uzyskuje energię ze środowiska przez rodzaj powolnego chemicznego spalania i przechowuje ją przez ładowanie baterii biologicznych wbudowanych we wszystkich komórkach. Takie zestawy baterii zapewniają stałe źródło energii elektrycznej, które komórki używają do syntezy cząsteczek służących do transportu i dostarczania energii każdemu składnikowi komórek.

Może się to wydawać skomplikowane. I jest skomplikowane. Ale również bardzo ważne. Rozwikłajmy więc to krótko. Jeśli nie zrozumiecie każdego szczegółu, w porządku. Nawet pobieżne spojrzenie wywoła zachwyt nad tym, jak życie zasila swe funkcjonowanie.

Spalanie chemiczne, kluczowe dla przetwarzania energii przez życie, nazywane jest *reakcją redoks*. Nie jest to najbardziej zachęcająca nazwa, ale klasyczny przykład – płonące polano – wyjaśnia tę nomenklaturę. Podczas spalania drewna węgiel i wodór w nim zawarte uwalniają elektrony do atomów tlenu w powietrzu (pamiętajmy, że tlen tęskni za elektronami), wiążąc je w cząsteczki wody i dwutlenku węgla oraz uwalniając w tym procesie energię (powód, dla którego ogień jest gorący). Kiedy tlen wychwytuje elektrony, mówimy, że został *zredukowany* (można to uznać za zredukowanie tęsknoty tlenu za elektronami). Kiedy węgiel lub wodór zrzeka się elektronów na rzecz tlenu, mówimy, że zostały

utlenione. Razem mamy reakcję *utleniania-redukcji*, czyli w skrócie redoks.

Naukowcy używają teraz terminu „redoks” w szerszym znaczeniu, odnosząc się do zbioru reakcji, w których elektrony są przekazywane między składnikami chemicznymi, niezależnie od tego, czy chodzi o tlen. Mimo to płonące polano stanowi szeroko pojęty szablon do opisu spalania chemicznego. Zachłanne atomy, z brzemieniem częściowo wypełnionych poziomów, grabią elektrony od atomów-dawców tak silnym chwytem, że w procesie tym uwalniana jest znacząca, ukryta energia.

W żywych komórkach – dla ustalenia uwagi skupmy się na zwierzętach – zachodzą podobne reakcje redoks, ale, co ważne, elektrony oderwane od atomów, które połknęliśmy na śniadanie, nie przenoszą się bezpośrednio do tlenu. Gdyby tak było, uwolniona energia stworzyłaby coś na podobieństwo ognia komórkowego, rezultatu, którego lepiej jest unikać. Zamiast tego elektrony przekazane przez żywność przechodzą przez serię pośrednich reakcji redoks, serię miejsc na odpoczynek podczas wędrówki, która ostatecznie kończy się na tlenie, ale na każdym kroku pozwala na uwolnienie mniejszych ilości energii. Jak piłka spadająca kaskadowo po schodach odkrytych trybun stadionu, elektrony przeskakują z jednego molekularnego receptora do drugiego, a każdy z nich jest bardziej spragniony elektronu niż poprzedni, co gwarantuje, że każdy przeskok powoduje uwolnienie energii. Tlen, najbardziej ze wszystkich spragniony elektronu receptor, czeka na niego u dołu schodów, a kiedy on tam w końcu dotrze, tlen uściśnie elektron szczelnie, wyciskając resztki jego energii, co kończy w ten sposób proces jej pozyskiwania.

U roślin proces ten jest w dużej mierze taki sam. Główną różnicą jest źródło elektronów. U zwierząt pochodzą one z pożywienia. Rośliny zaś pobierają je z wody. Światło słoneczne, padając na chlorofil w zielonych liściach roślin, zdziera elektrony z cząsteczek wody, podwyższa ich energię i wysyła je na podobną, wydobywającą energię kaskadę reakcji redoks. Zatem energię potrzebną do egzystencji wszystkich istot żywych można odnaleźć w jednym i tym samym procesie zachodzącym w komórkach, w którym

przeskakujące elektrony biorą udział w serii reakcji redoks. Dlatego Albert Szent-Györgyi, kontynuując swoje poetyckie refleksje, zastanawiał się: „Życie nie jest niczym innym jak elektronem szukającym miejsca do odpoczynku”.

Warto podkreślić, jak zadziwiające jest to wszystko z perspektywy fizyki. Energia jest monetą, którą płaci się za ruch w całym kosmosie, wybitą w wielu walutach, a zysk czerpie z niej o wiele więcej dziedzin nauki. Jedną z walut jest energia jądrowa, uwalniana w reakcji rozszczepienia jądrowego i syntezy jądrowej; następną energia elektromagnetyczna, wytwarzana w wyniku przyciągania i odpychania się naładowanych cząstek; jeszcze inną – energia grawitacyjna, powstająca dzięki oddziaływaniu wielu masywnych ciał. A jednak ze wszystkich niezliczonych procesów życie na Ziemi wykorzystuje tylko jeden mechanizm uzyskiwania energii: specyficzną sekwencję elektromagnetycznych reakcji chemicznych, w których elektrony są zaangażowane w prowadzącą w dół sekwencję przeskoków, zaczynając od żywności lub wody, a kończąc w uścisku tlenu.

W jaki sposób i dlaczego ten proces uzyskiwania energii stał się dla życia mechanizmem przynoszącym oczekiwane efekty? Nikt nie wie. Jednak uniwersalność, podobnie jak w przypadku kodu genetycznego, przemawia ponownie, i to mocno, za jednością życia. Dlaczego wszystkie żywe istoty zasilają się w energię w ten sam sposób? Odpowiedź na to pytanie jest taka, że wszystkie formy życia muszą pochodzić od wspólnego przodka, gatunku jednokomórkowego, który według naukowców istniał prawdopodobnie około czterech miliardów lat temu.

Biologia i baterie

Dowody na jedność życia stają się jeszcze bardziej przekonujące, gdy podążamy za energią uwalnianą przez elektrony przeskakujące z jednej reakcji redoks do drugiej. Energia ta jest wykorzystywana do ładowania biologicznych baterii, które są wbudowane w każdą komórkę. Z kolei baterie te napędzają syntezę cząsteczek dobrze

dostosowanych do transportu i dostarczania energii wszędzie tam, gdzie jest ona potrzebna komórce. To skomplikowany proces, ale dla wszystkich organizmów żywych jest to ten sam proces.

W ogólnym zarysie tak to przebiega. Gdy elektron wskakuje w rozpostarte ramiona molekularne danego receptora redoks, odbierająca go cząsteczka drga, co powoduje zmianę jej orientacji względem ciasno upakowanych wokół niej cząsteczek, podobnie jak koło zapadkowe przesuwające się o jeden ząb do przodu. Kiedy potem kapryśny elektron przeskakuje do następnego receptora redoks, pierwsza cząsteczka wraca do swojej pierwotnej orientacji, podczas gdy nowa cząsteczka doznaje drgnięcia. Gdy elektron wykonuje kolejne skoki, wzorzec się powtarza. Cząsteczki otrzymujące elektron drgnięciem zmieniają swoją orientację do przodu; te tracące elektron także drgnięciem zmieniają orientację wstecz.

Sekwencja przeskoków elektronu i wynikających z tego drgnięć molekularnych wykonuje subtelne, ale istotne zadanie. Gdy cząsteczki drgają tam i z powrotem, napierają na grupę protonów, zmuszając je do przejścia przez otaczającą je membranę, gdzie gromadzą się w cienkim przedziale, który przypomina przepełnioną celę w więzieniu albo, ujmując to językiem potocznym, baterię protonową.

W zwykłej baterii reakcje chemiczne zmuszają elektrony do gromadzenia się po jednej stronie baterii (anody), gdzie wzajemne odpychanie się tych podobnie naładowanych cząstek oznacza, że są one przygotowane do ucieczki przy pierwszej okazji. Po zamknięciu obwodu elektrycznego naciśnięciem przycisku „włączony” lub obróceniu przełącznika uwalniasz spiętrzone elektrony, pozwalając im wypłynąć z anody, przejść przez żarówkę, laptopa, telefon – i w końcu wrócić na drugą stronę baterii (katodę). Choć tak powszechne, to jednak baterie są niezwykle pomysłowymi urządzeniami. Magazynują energię w stłoczonym zbiorze elektronów, będąc w gotowości do momentalnego jej oddania w celu zasilenia wybranych przez nas urządzeń.

W żywej komórce mamy do czynienia z analogiczną sytuacją, w której nagromadzone protony zastępują elektrony (ale to różnica,

która nie ma prawie żadnego znaczenia). Protony, podobnie jak elektrony, przenoszą ten sam ładunek elektryczny, a więc również odpychają się nawzajem. Kiedy komórkowe reakcje redoks upychają protony blisko siebie, one również są w gotowości, czekając na okazję, by oderwać się od swoich narzuconych towarzyszy. Komórkowe reakcje redoks ładują w ten sposób biologiczne baterie protonowe. W rzeczywistości, ponieważ wszystkie protony są skupione po jednej stronie niezwykle cienkiej membrany (o szerokości zaledwie kilkudziesięciu atomów), pole elektryczne (różnica potencjałów po obu stronach membrany podzielona przez grubość membrany) może być ogromne, sięgające dziesiątek milionów woltów na metr. Komórkowa biobateria to nie jakaś łajza.

Co więc komórki robią z tymi minielektrowniami? Tu sprawy stają się jeszcze bardziej zdumiewające. Do membrany przymocowanych jest wiele turbin w skali nano. Kiedy upakowane protony przepływają z powrotem przez określone odcinki membrany, powodują obracanie się maciupeńkich turbin, tak jak wiejące podmuchy powietrza wywołują obracanie się skrzydeł wiatraków. W przeszłości taki napędzany wiatrem ruch obrotowy był wykorzystywany do rozdrabniania pszenicy lub innych ziaren na mąkę. Wiatraki komórkowe realizują analogiczny projekt rozdrabniania, ale zamiast robić ze struktury proszek, ten proces ją buduje. W trakcie tego procesu turbiny molekularne na wejściu nieustannie zgniatają ze sobą dwie określone cząsteczki (ADP, adenozynodifosforan plus grupa fosforanowa), syntetyzując jedną konkretną molekułę wyjściową (ATP, adenozynotrójfosforan). Zgniecione razem przez turbinę, naładowane składniki każdej cząsteczki ATP są w takim ułożeniu, że wzajemnie się odpychają, lecz są utrzymywane razem przez wiązania chemiczne, a więc, podobnie jak ściśnięta sprężyna, mogą zostać uwolnione. Jest to niezwykle użyteczne. Cząsteczki ATP mogą przemieszczać się w całej komórce, gdy trzeba, uwalniając zmagazynowaną w nich energię przez zerwanie wiązań chemicznych, w wyniku czego jej składniki przechodzą do niższego stanu energetycznego, bardziej komfortowego. To właśnie ta energia, uwolniona w wyniku dysocjacji cząsteczek ATP, zasila funkcjonowanie komórki.

Niezmordowana aktywność tych elektrowni komórkowych staje się oczywista, gdy weźmie się pod uwagę kilka liczb. Funkcje, które utrzymują typową komórkę przy życiu tylko przez jedną sekundę, wymagają energii zgromadzonej w niemal dziesięciu milionach cząsteczek ATP. Twój organizm zawiera dziesiątki bilionów komórek, co oznacza, że co sekundę zużywasz około stu milionów bilionów (10^{20}) cząsteczek ATP. Za każdym razem gdy ATP jest używana, rozdziela się na surowce (ADP i fosforan), które zasilane bateriami protonowymi turbiny z powrotem łączą w świeżo zgniecione, w pełni odmłodzone cząsteczki ATP. Cząsteczki ATP ponownie wybierają się w podróż, dostarczając energię w całej komórce. Aby zaspokoić zapotrzebowanie organizmu na energię, turbiny komórkowe muszą być zdumiewająco wydajne. Nawet jeśli niezwykle szybko czytasz, w trakcie przelatywania wzrokiem tego zdania twoje ciało zsyntetyzowało około pięciuset milionów bilionów cząsteczek ATP. A teraz jeszcze kolejnych trzysta milionów trylionów.

Podsumowanie

Jeśli odłożymy na bok szczegóły, to wniosek jest taki, że w miarę jak elektrony energetyczne z żywności (lub elektrony zasilane przez światło słoneczne w roślinach) spadają kaskadą w dół chemicznych schodów, energia uwalniana na każdym stopniu ładuje biologiczne baterie, które znajdują się we wszystkich komórkach. Energia zmagazynowana w bateriach jest następnie wykorzystywana do syntezy cząsteczek, które z energią robią to, co robi UPS z paczkami: cząsteczki niezawodnie dostarczają paczki energii wszędzie tam, gdzie w komórce istnieje na nie zapotrzebowanie. Jest to uniwersalny mechanizm, który zasila wszystko, co żyje. To niezwykły tor rozprowadzania energii stanowiącej podstawę każdego naszego działania i każdej naszej myśli.

Podobnie jak w przypadku krótkiego przeglądu własności DNA, wszystko zależy od szczegółów: zawiły i pozornie barokowy zbiór procesów, które dostarczają energii komórkom, jest uniwersalny dla wszystkich form życia. Ta jedność, wraz z jednością zakodowanych

w DNA instrukcji komórkowych, stanowi silny dowód na to, że wszystkie formy życia mają wspólnego przodka.

Einstein poszukiwał jednolitej teorii oddziaływań natury, fizycy marzą dziś o jeszcze większej syntezie obejmującej całą materię, a być może także przestrzeń i czas, podobnie kuszące jest znalezienie czegoś wspólnego, co łączy szerokie spektrum pozornie odrębnych zjawisk. To, że funkcjonowanie wszelkich form życia zależy od tych samych procesów molekularnych – począwszy od moich dwóch psów, spokojnie leżących na dywanie, przez chaotyczny wir owadów, przyciąganych przez moją lampę, do chóru żab z pobliskiego stawu i kojotów, których wycie słyszę teraz w oddali – jest spektakularne. Odłóżmy więc na bok szczegóły, zróbmy sobie przerwę przed zakończeniem rozdziału i pozwólmy, aby ta cudowna świadomość w pełni nami zawładnęła.

Ewolucja przed ewolucją

Uświadomienie sobie tych podstawowych faktów nie tylko zapewnia nieprzewidzianą klarowność, ale także pobudza nas do dalszego zgłębiania tematu. Jak powstał wspólny przodek całego złożonego życia? Jeszcze wcześniej, jak powstało życie? Naukowcy nie ustalili dotąd źródła życia, ale nasza dyskusja jasno pokazała, że pytanie jest trójczłonowe. W jaki sposób powstała genetyczna składowa życia – zdolność do przechowywania, wykorzystywania i powielania informacji? Jak powstał metaboliczny składnik życia – zdolność do pozyskiwania, przechowywania i wykorzystywania energii chemicznej? W jaki sposób pojawiło się upakowanie genetycznej i metabolicznej maszynerii w niezależnych pojemnikach – komórkach? Opowieść o pochodzeniu życia wymaga odpowiedzi na powyższe pytania, ale nawet bez pełnego zrozumienia tych zagadnień możemy posłużyć się wyjaśnieniami, jakich dostarcza ewolucja darwinowska, która na pewno będzie integralną częścią tej przyszłej opowieści.

Kiedy po raz pierwszy dowiedziałem się o ewolucji darwinowskiej, mój nauczyciel biologii przedstawił teorię tak, jakby była ona

sprytnym rozwiązaniem dla łamigłówki, która po zrozumieniu powinna wywołać lekkie uderzenie w czoło i okrzyk: „Dlaczego o tym nie pomyślałem?!”. Zagadką jest wyjaśnienie pochodzenia bogactwa zróżnicowanych gatunków zamieszkujących naszą planetę. Rozwiązanie Darwina sprowadza się do dwóch powiązanych ze sobą idei: po pierwsze, kiedy organizmy się rozmnażają, potomstwo jest na ogół podobne do rodziców, ale nie identyczne. Albo, jak ujął to Darwin, rozmnażanie to pochodzenie z modyfikacją. Po drugie, w świecie o ograniczonych zasobach osobniki konkurują o przetrwanie. Biologiczne modyfikacje, które wzmacniają sukces w rywalizacji, zwiększają prawdopodobieństwo, że ich nosiciel przetrwa wystarczająco długo, aby dokonać reprodukcji i w ten sposób przekazać przyszłym pokoleniom cechy wzmacniające przetrwanie. Z czasem różne kombinacje skutecznych modyfikacji powoli akumulują się, dzieląc populację na grupy, z których powstają odrębne gatunki[75].

Prosta i intuicyjna darwinowska ewolucja wydaje się oczywista. Lecz bez względu na to, jak przekonujące są jej wyjaśnienia, gdyby nie była poparta danymi, nie udałoby się osiągnąć konsensusu co do jej poprawności naukowej. Logika to za mało. Zaufanie do ewolucji darwinowskiej oparte jest na poparciu, jakie otrzymała ona od uczonych, którzy prześledzili stopniowe zmiany w strukturze organizmów i określili adaptacyjne zalety wielu z tych zmian. Gdyby takich transformacji nie było lub występowały bez żadnego wyraźnego wzorca albo nie miały żadnego związku ze zdolnością ich nosiciela do przetrwania lub rozmnażania, w szkołach nie uczono by darwinowskiej ewolucji.

Darwin nie określił biologicznej podstawy dla pochodzenia z modyfikacją. W jaki sposób żywe istoty przekazują swoje cechy potomstwu? I w jaki sposób niektóre z tych cech przechodzą na następne pokolenia w zmodyfikowanej postaci? W czasach Darwina nie znano jeszcze odpowiedzi. Oczywiście, wszyscy zdawali sobie sprawę, że mała Marysia wygląda jak mama i tata, ale zrozumienie molekularnego mechanizmu przekazywania tych cech było odległe jeszcze o wiele odkryć. To, że Darwin mógł rozwinąć teorię ewolucji mimo braku takich szczegółów, przemawia za ogólnością i mocą tych

idei wykraczających poza konkretne szczegóły. Dopiero prawie sto lat później, w 1953 roku, objaśnienie struktury DNA umożliwiło zrozumienie molekularnych podstaw dziedziczności. Watson i Crick zakończyli swój artykuł tak wytwornie powściągliwym niedopowiedzeniem, że zalicza się je do najsłynniejszych na świecie: „Nie umknęło naszej uwadze, że postulowane przez nas sparowanie bezpośrednio sugeruje ewentualny mechanizm kopiowania materiału genetycznego".

Watson i Crick ujawnili proces, w którym życie powiela te same cząsteczki, przechowujące wewnętrzne instrukcje komórki, pozwalając kopiom tych instrukcji przejść na potomstwo. Jak widzieliśmy, informacje, które kierują funkcjonowaniem komórki, są zakodowane w sekwencji zasad zawieszonych wzdłuż nici poskręcanej drabinki DNA. Kiedy komórka przygotowuje się do reprodukcji, do podziału na dwie części, drabina DNA rozdziela się aż do środka, dostarczając dwie nici, z których każda składa się z sekwencji zasad. Ponieważ sekwencje te wzajemnie się uzupełniają (A na jednej nici zapewnia T w odpowiedniej pozycji na drugiej; C na jednej nici zapewnia G w odpowiedniej pozycji na drugiej nici), każda nić stanowi szablon do budowy kopii drugiej. Przymocowując zasady partnera do tych na każdej z oddzielnych nici, komórka tworzy dwie kompletne kopie oryginalnej helisy DNA. Kiedy komórka następnie się dzieli, każda komórka córka otrzymuje jedną z kopii, przekazującą informację genetyczną z pokolenia na pokolenie – to mechanizm kopiowania, który nie umknął uwadze Watsona i Cricka.

Jak opisano, proces kopiowania dawałby identyczne helisy DNA. Jak więc nowe lub zmodyfikowane cechy mogłyby powstać w komórkach córek? Błędy. Żaden proces nie jest w stu procentach doskonały. Chociaż rzadkie, błędy się zdarzają, czasem przez przypadek, a czasem powodowane przez wpływ środowiska, taki jak fotony o wysokiej energii z promieniowania ultrafioletowego lub rentgenowskiego, które może zakłócić proces kopiowania. Sekwencja DNA odziedziczona przez komórkę córkę może się więc różnić od tej, którą odziedziczyli jej rodzice. Często takie modyfikacje mają niewielkie znaczenie, porównywalne z pojedynczą literówką na stronie 413 *Wojny i pokoju*, ale niektóre mogą mieć wpływ na

funkcjonowanie komórki, dobry lub zły. Ten pierwszy, zwiększając sprawność fizyczną, zapewnia więcej szans na to, że zostanie ona przekazana kolejnym pokoleniom i w ten sposób rozprzestrzeni się na całą populację.

Rozmnażanie seksualne dodaje złożoności, ponieważ materiał genetyczny nie jest po prostu powielany, ale tworzony przez łączenie wkładów od rodzica płci męskiej i żeńskiej. O ile taka reprodukcja stanowiła doniosły krok w historii życia na Ziemi – o której pochodzeniu wciąż się dyskutuje – o tyle zasady darwinowskie i tak mają zastosowanie. Mieszanie i kopiowanie materiału genetycznego różnicują cechy dziedziczone, a te cechy mogące utrzymać się przez pokolenia zwiększają szanse nosiciela na przetrwanie i rozmnażanie.

Istotne dla ewolucji jest to, że w procesie przechodzenia od rodzica do potomstwa modyfikacje DNA są zazwyczaj nieliczne. Taka stabilność chroni ulepszenia genetyczne budowane przez poprzednie pokolenia i zapewnia, że nie ulegną one szybko degradacji lub nie zostaną zniszczone. Aby się przekonać, jak rzadkie są takie zmiany, poznajmy pewne liczby. Błędy kopiowania wkradają się w tempie mniej więcej jednego na sto milionów par zasad DNA. To tak jakby średniowieczny kopista napisał jedną nieodpowiednią literę na każde 30 skopiowanych Biblii. I nawet tak małe tempo jest zawyżone, ponieważ 99 procent błędów naprawiają chemiczne mechanizmy korekcji działające w każdej komórce, co zmniejsza tempo błędów do około jednego na każde 10 miliardów par zasad.

Nawet takie minimalne modyfikacje genetyczne, gdy nagromadzane są w wielu pokoleniach, mogą prowadzić do ogromnego rozwoju fizycznego i fizjologicznego. Nie jest to oczywiste. Ci, którzy mają do czynienia z cudem oka, możliwościami mózgu lub złożonością energetycznego mechanizmu komórki, uznają, że układy te nie mogłyby ewoluować bez czołowej roli inteligencji. I ten wniosek byłby uzasadniony, gdyby rozwój ewolucyjny odbywał się w znanych nam skalach czasu. Tak przecież nie było. Życie ewoluowało przez *miliardy* lat. To są *tysiące milionów* lat. Gdyby każdy rok był kartką papieru do drukarki, miliard lat odpowiadałby stosowi papieru o wysokości prawie 100 kilometrów. Wyobraźmy sobie, że kartki te tworzą kineograf, którego grubość jest

ponad 10 razy większa od wysokości Mount Everestu. Nawet jeśli rysunek na każdej stronie tylko nieznacznie różni się od poprzedniego, te na początku i na końcu stosu mogą być tak różne jak szympans i ameba.

Nie oznacza to, że ewolucyjna zmiana następuje według starannie opracowanego planu, który stopniowo i skutecznie się rozwija, strona po stronie, od organizmów prostych do złożonych. Ewolucję dokonywaną za pomocą selekcji naturalnej lepiej opisywać jako innowację prowadzoną metodą prób i błędów. Innowacje powstają w wyniku przypadkowych połączeń i mutacji materiału genetycznego. Na arenie przetrwania próby wystawiają jedną innowację przeciwko drugiej. Błędy, z definicji, są innowacjami, które przegrywają. Takie podejście do innowacji doprowadziłoby do bankructwa większość przedsiębiorstw. Wypróbowanie jednej przypadkowej możliwości, a następnie drugiej, w nadziei, że prędzej czy później jedna z nich wypali na rynku – spróbuj wprowadzić taką strategię do swojej rady nadzorczej. Natura natomiast ma nadmiar zasobu, którego w biznesie brakuje: czasu. Natura się nie spieszy i nie musi mieć wyników. Może spokojnie ponieść koszt wprowadzania innowacji przez małe, przypadkowe zmiany[76].

Istotnym czynnikiem jest również to, że nie było ani jednego odosobnionego ewolucyjnego kineografu. Do darwinowskiej narracji przyczynił się każdy podział komórki w każdym organizmie zajmującym każdy zakamarek planety. Niektóre z tych fabuł skończyły się fiaskiem (modyfikacje genetyczne, które miały szkodliwy skutek). Większość nie dodała nic nowego do trwającej fabuły (materiał genetyczny przekazany bez zmian), ale niektóre z nich zapewniły nieoczekiwane zwroty akcji (modyfikacje genetyczne, które były adaptacyjnie użyteczne), jakie rozwinęły się w ich własne, ewolucyjne kineografy. Wiele z nich w rzeczywistości miałoby współzależne fabuły i występujące w nich wątki, narracja ewolucyjna w jednym kineografie byłaby więc poddana wpływowi innych narracji. Bogactwo życia na Ziemi odzwierciedla zatem ogromny czas trwania kronik ewolucyjnych, ale także ogromną liczbę kronik, które napisała natura.

Jak każda dziedzina badań naukowych, ewolucja darwinowska była dyskutowana i udoskonalana przez dziesięciolecia. W jakim tempie ewoluują gatunki? Czy tempo to zmienia się znacznie w czasie? Czy istnieją długie okresy zastoju, po których następują krótkie okresy szybszych zmian? Czy też zmiany są zawsze stopniowe? Co powinniśmy myśleć o cechach, które mogą zmniejszyć szanse przetrwania organizmu, zwiększając jednocześnie prawdopodobieństwo jego rozmnażania? Jaka jest pełna lista mechanizmów, dzięki którym geny mogą się zmieniać z pokolenia na pokolenie? Jak powinniśmy interpretować luki w zapisie ewolucyjnym? Niektóre z tych kwestii doprowadziły do gorących naukowych sporów, ale – i to jest kluczowe – nikt nie podał w wątpliwość samej ewolucji. Szczegóły wszelkich objaśnień mogą i powinny być z czasem dopracowane, ale fundament teorii darwinowskiej jest solidny jak skała.

A to rodzi pytanie: Czy teoria darwinowska może mieć szersze zastosowanie niż życie? W końcu istotne składniki – powielanie, zróżnicowanie i konkurencja – nie ograniczają się do istot żywych. Drukarze powielają strony. Zniekształcenia optyczne powodują zmiany w kopiach. Bezprzewodowy odbiornik drukarki konkuruje z innymi odbiornikami w warunkach ograniczonej przepustowości. Wyobraźmy sobie kontekst bliższy życiu niż drukarki biurowe, ale zdecydowanie nieożywiony: cząsteczki, które mają zdolność do replikacji. DNA jest pierwszorzędnym przykładem, zapamiętajmy to. Jednak replikacja DNA – rozszczepienie tej skręconej drabiny i późniejsza przebudowa każdej z nici na dwie pełnoprawne cząsteczki córki DNA – oparta jest na armii białek komórkowych, a więc wymaga już procesów życiowych.

Zamiast tego wyobraźmy sobie, że na długo przed pojawieniem się życia w jakimkolwiek miejscu jest cząsteczka, która sama może się replikować. Nieistotny jest konkretny mechanizm replikacji, ale po to, aby mieć konkretne wyobrażenie, niech cząsteczka tego typu działa jak magnes molekularny, silnie przyciągając składniki, które ją tworzą i stanowią szablon składania z nich molekularnego naśladowcy. Wyobraźmy sobie również, że proces replikacji jest niedoskonały, jak wszystkie procesy w świecie rzeczywistym. Przez

większość czasu nowo zsyntetyzowana molekuła jest identyczna z oryginałem, ale czasami nie jest. W ciągu wielu molekularnych pokoleń budujemy w ten sposób ekosystem zamieszkiwany przez spektrum molekuł, które są odmianami oryginału.

W każdym środowisku zawsze są ograniczone surowce, ograniczone zasoby. W miarę jak nasz ekosystem molekuł będzie się dalej replikował, przeważać będą te cząsteczki, które replikują się najsprawniej i dokładnie – szybko, tanio, ale nie wymykając się spod kontroli. Takie molekuły, najbardziej „sprawne", z czasem zdominują całą populację. Każda kolejna mutacja wynikająca z niedoskonałej replikacji będzie dodawać dalsze modyfikacje sprawności molekularnej. I jak w przypadku wszystkich istot żywych, także i przedmiotów nieożywionych: modyfikacje zwiększające sprawność molekularną będą przeważać nad tymi, które jej nie zwiększają. Większa płodność molekuł, które są bardziej sprawne, zmienia demografię w kierunku właśnie tych molekuł.

To, co opisałem, to molekularna wersja ewolucji – *molekularny darwinizm*. Pokazuje on, jak grupy zderzających się ze sobą cząsteczek, które podlegają wyłącznie prawom fizyki, mogą zyskać jeszcze większe zdolności reprodukcyjne – coś, co zazwyczaj kojarzy nam się z życiem. Kiedy poszukujemy źródeł życia, to sugeruje nam, że darwinizm molekularny mógł być istotnym mechanizmem w erze, kiedy wyłoniła się pierwsza żywa istota. Wersja tej hipotezy, która ma swoich zwolenników, choć daleko jeszcze do konsensusu, bierze pod uwagę specjalną, wszechstronnie utalentowaną cząsteczkę: RNA.

W stronę źródeł życia

Już w latach sześćdziesiątych XX wieku wielu wybitnych badaczy, w tym Francis Crick, chemik Leslie Orgel i biolog Carl Woese, zwróciło uwagę na bliskiego kuzyna DNA, kwas rybonukleinowy (zwany RNA), który około czterech miliardów lat temu mógł zapoczątkować fazę darwinizmu molekularnego, prekursora życia.

RNA jest niezwykle wszechstronną cząsteczką, niezbędnym składnikiem wszystkich żywych organizmów. Można ją sobie wyobrażać jako krótszą, jednostronną wersję DNA, składającą się z pojedynczej nici, wzdłuż której przymocowana jest sekwencja zasad. Wśród jej różnych ról komórkowych RNA jest mediatorem chemicznym, który pobiera odciski różnych małych odcinków „porozpinanego" pasma DNA (podobnie dentysta pobiera wycisk zębów oddzielnie dla górnej i dolnej szczęki) i transportuje informacje do innych części komórki, gdzie kieruje syntezą określonych białek. Podobnie jak DNA, cząsteczki RNA ucieleśniają w ten sposób informację komórkową, a tym samym są częścią składową oprogramowania komórki. Istnieje jednak ważna różnica między RNA i DNA: podczas gdy DNA zadowala się rolą wyroczni komórkowej, źródła mądrości kierującego aktywnością komórki, RNA jest skłonny brudzić sobie ręce, uczestnicząc w procesach chemicznych. Rzeczywiście, występujące w komórkach rybosomy – miniaturowe fabryki, które łączą aminokwasy w celu uzyskania białek – mają w swoim rdzeniu szczególną odmianę RNA (rybosomalny RNA).

RNA jest więc zarówno oprogramowaniem, jak i sprzętem. Może kierować reakcjami chemicznymi, jak również je katalizować. A wśród tych reakcji są takie, które sprzyjają replikacji samego RNA. Podczas gdy maszyneria molekularna, która wykonuje kopie DNA, używa skomplikowanego zestawu chemicznych trybików i kółek, sam RNA może promować syntezę par zasad niezbędnych do jego własnej replikacji. Weźmy pod uwagę implikacje. Cząsteczki RNA, oprogramowanie i sprzęt do mieszania, mają potencjał, aby obejść zagadkę kury i jaja: jak złożyć sprzęt molekularny bez uprzedniego zdobycia oprogramowania molekularnego, instrukcji do przeprowadzenia montażu? Jak dokonać syntezy molekularnego oprogramowania bez uprzedniego posiadania molekularnego sprzętu, infrastruktury do przeprowadzenia syntezy? Ucieleśniając obie funkcje, RNA łączy kurę i jajo, a tym samym ma zdolność do popchnięcia ery darwinizmu molekularnego do przodu.

Taka jest propozycja świata RNA. Ta propozycja zakłada, że zanim powstało życie, istniał świat nasycony cząsteczkami RNA, które dzięki

darwinizmowi molekularnemu ewoluowały w ciągu ogromnej niezbadanej liczby pokoleń w struktury chemiczne stanowiące pierwsze komórki. Podczas gdy szczegóły koncepcji mają jeszcze charakter wstępny, naukowcy naszkicowali tę fazę ewolucji molekularnej. W latach pięćdziesiątych XX wieku laureat Nagrody Nobla Harold Urey i jego magistrant Stanley Miller zmieszali gazy (wodór, amoniak, metan, parę wodną), które według nich stanowiły wczesną ziemską atmosferę, przeprowadzali wyładowania elektryczne w koktajlach gazowych, symulując uderzenia pioruna, i ogłosili, że powstały brązowy osad zawiera aminokwasy, cegiełki, z których zbudowane są białka. Chociaż późniejsze badania wykazały, że początkowe analizowane przez Millera i Ureya mieszanki gazowe nie odzwierciedlały dokładnie składu chemicznego wczesnej ziemskiej atmosfery, podobne doświadczenia przeprowadzone z innymi koktajlami gazowymi (w tym mieszanka Millera i Ureya wymyślona w celu modelowania toksycznych oparów z aktywnych wulkanów, które, co ciekawe, pozostawały nieanalizowane przez ponad pół wieku[77]) były równie skuteczne w wytwarzaniu aminokwasów. Co więcej, aminokwasy są obecnie wykrywane w obłokach międzygwiezdnych, w kometach i meteorytach. Prawdopodobnie więc chemiczny kocioł na młodej Ziemi mógł mieszać replikujące się cząsteczki RNA z bogatym asortymentem aminokwasów.

Wyobraźmy sobie, że w miarę jak cząsteczki RNA nadal się replikowały, przypadkowa mutacja ułatwiła coś nowego: zmutowany RNA koncentrował niektóre z aminokwasów ze środowiska, aby połączyć się w łańcuchy, dając pierwsze podstawowe białka (prymitywna wersja tego rodzaju procesów, które obecnie zachodzą w rybosomach). Gdyby przypadkiem niektóre z tych podstawowych białek zwiększyły wydajność replikacji RNA – przecież reakcje katalityczne są częściowo tym, co białka robią – byłyby bogato wynagrodzone: białka doprowadziłyby zmutowaną formę RNA do dominacji, a nowe obfite źródło zmutowanego RNA pomogłoby w syntezie większej liczby tych białek. W tandemie tworzyłyby one samowzmacniającą się pętlę chemiczną, która powodowałaby, że przypadkowe cząsteczkowe odchylenia od normy stawałyby się

normą. Z czasem powtarzająca się molekularna machinacja może stworzyć inną chemiczną nowość, dwie razem skręcone nici i poprzeczki między nimi – podstawową formę DNA – która okazała się bardziej stabilną i wydajną strukturą dla replikacji molekularnej i stopniowo uzurpowała sobie prawo do procesów replikacji, a w końcu zdegradowała RNA do roli wspierającej. Przypadkowe tworzenie się toreb molekularnych – ścianek komórek – zwiększałoby sprawność biologiczną dzięki koncentracji chemikaliów w ograniczonym obszarze i ochronie przed destrukcyjnym wpływem środowiska. Nastąpiłoby połączenie struktur niezbędnych do budowy pierwszych pierwotnych komórek i rozprzestrzeniłoby się w całej chemicznej populacji[78].

Narodziłoby się życie.

Świat RNA jest tylko jedną z wielu propozycji. Jest to przykład, który ceni wysoko genetyczny składnik życia: cząsteczki ucieleśniają informacje i przez replikację przekazują je kolejnym pokoleniom. Gdyby propozycja okazała się poprawna, nadal musielibyśmy zająć się pochodzeniem samego RNA; być może nawet wcześniejszy etap ewolucji molekularnej mógłby wytworzyć RNA z jeszcze prostszych składników chemicznych. Inne koncepcje kładą większy nacisk na składnik metaboliczny życia: cząsteczki, które są katalizatorami reakcji. Zamiast replikować cząsteczkę, która może działać jak białko, te scenariusze rozpoczynają się od cząsteczek białka, które mogą się replikować. Jeszcze inne propozycje przewidują dwa całkowicie odrębne wydarzenia: jedno, które prowadzi do cząsteczek mogących się replikować, a drugie – do katalizatorów reakcji chemicznych, dopiero później połączenie tych procesów tworzy komórki, które mogą wykonywać podstawowe funkcje replikacji i metabolizmu.

Istnieje również obfitość propozycji co do miejsca powstania pierwszych chemicznych przodków życia. Niektórzy badacze dochodzą do wniosku, że darwinowska sugestia „ciepłego małego stawu" nie jest szczególnie obiecująca, ponieważ przez setki milionów lat na Ziemię spadały skaliste odłamki, co czyniło jej powierzchnię mało gościnną[79]. Mimo to biolog David Deamer zasugerował, że niezbędne do powstania życia jest środowisko, które

oscyluje między mokrym a suchym, jak ziemia na skraju stawu lub jeziora. Badania jego zespołu wykazały, że takie cykle mokre i suche mogą spowodować, iż lipidy tworzą membrany – ściany komórek – w obrębie których fragmenty cząsteczek mogą łączyć się w dłuższe łańcuchy, podobne do RNA i DNA[80]. Chemik Graham Cairns-Smith zaproponował, że kryształy tworzące pokłady gliny – struktury, które powstają z atomów ułożonych według uporządkowanego, powtarzalnego wzorca – mogą stanowić wczesny system replikacji, który był prekursorem takiego zachowania na drodze do życia w bardziej złożonych cząsteczkach organicznych[81]. Innym fascynującym kandydatem, zgłoszonym przez geochemika Mike'a Russella i biologa Billa Martina, są pęknięcia dna oceanu, które wypluwają ciepłe, bogate w minerały smugi powstające w wyniku interakcji wody morskiej ze skałą stanowiącą płaszcz ziemski[82]. Te tak zwane alkaliczne otwory hydrotermalne wytrącają wapień, który formuje wapienne kominy wznoszące się z dna morskiego – niektóre na wysokość ponad 50 metrów, wyższą niż Statua Wolności – oblepione zakamarkami, przez które nieustannie przepływa strumień chemikaliów. Ta hipoteza przewiduje, że wewnątrz wielu wirów, które tworzą się w obrębie kominów, darwinizm molekularny wykonuje swoje chemiczne czary, tworząc replikatory z czasem stopniowo zwiększające złożoność i wyrafinowanie, ostatecznie stające się źródłem życia na Ziemi.

Szczegóły są obecnie intensywnie badane. Dotychczasowe laboratoryjne próby odtworzenia tych procesów są intrygujące, ale niejednoznaczne. Nadal musimy stworzyć życie od podstaw. Nie mam wątpliwości, że pewnego dnia, być może niedługo, nam się to uda. Tymczasem wyłania się nadrzędna naukowa narracja o pochodzeniu życia. Kiedy cząsteczki nabędą zdolności replikacji, przypadkowe błędy i mutacje zasilą darwinizm molekularny, powodując, że chemiczna mieszanina obierze kierunek zwiększonej sprawności. Ten zachodzący przez setki milionów lat proces jest zdolny stworzyć chemiczną architekturę życia.

Fizyka informacji

Do tego momentu można było dojść do wniosku, że molekuły życia dały sobie świetnie radę ze studiowaniem chemii organicznej. W przeciwnym razie skąd, u licha, miałyby wiedzieć, co mają robić? Skąd DNA wie, żeby rozszczepić środek i dołączyć komplementarne zasady do tych, które zostały odsłonięte, aby utworzyć duplikat cząsteczki? Skąd RNA wie, żeby skopiować odcinki DNA, przetransportować te informacje do odpowiednich struktur komórkowych, gdzie jeszcze inne odrębne, ale powiązane cząsteczki wiedzą, jak odczytać kod genetyczny i połączyć odpowiednie sekwencje aminokwasów w odpowiednie białka?

Oczywiście, molekuły nic nie wiedzą. Ich zachowaniem rządzą ślepe, bezmyślne prawa fizyki. Pozostaje wszakże pytanie: jak mogą one konsekwentnie i niezawodnie przeprowadzać zadziwiająco skomplikowaną serię złożonych procesów chemicznych? Nawiązuje ono do mojej parafrazy podstawowego pytania Schrödingera z książki *Czym jest życie?.* Drganiami i wychyleniami cząsteczek wewnątrz skały rządzą prawa fizyki. Drganiami i wychyleniami cząsteczek wewnątrz królika również rządzą prawa fizyki. Czym się one różnią? Teraz już wiemy, że cząsteczki wewnątrz królika poddane są dodatkowemu wpływowi pochodzącemu z wewnętrznego archiwum informacji królika, jego komórkowego oprogramowania. Co ważniejsze i co ma decydujące znaczenie: te informacje nie zastępują praw fizyki. Nic ich nie zastępuje. Zamiast tego, podobnie jak zjeżdżalnia wodna nie zastępuje praw grawitacji, ale dzięki swojemu kształtowi prowadzi zjeżdżających po określonej trajektorii, po której w przeciwnym razie by nie podążali, komórkowe oprogramowanie królika jest wykonywane przez układy chemiczne, które za sprawą swojego kształtu, struktury i składników prowadzą różne cząsteczki po trajektoriach, po których w przeciwnym razie i one by nie podążały.

Jak działają tacy przewodnicy molekularni? Ze względu na szczegółowy układ atomów, z jakich się składa, dana cząsteczka może przyciągać ten aminokwas, odpychać tamten i być całkowicie obojętna wobec innych. Albo, niczym dopasowane klocki Lego, dana cząsteczka może pasować do tylko jednej konkretnej innej cząsteczki. To wszystko jest fizyką. Kiedy atomy i cząsteczki

popychają się, ciągną lub stykają razem, jest to pokaz siły elektromagnetycznej w działaniu. Chodzi więc o to, że informacja zawarta w komórce nie jest abstrakcyjna. Nie jest to swobodny zestaw instrukcji, których molekuły muszą się uczyć, zapamiętywać i wykonywać. Zamiast tego informacje są zakodowane w samej strukturze cząsteczkowej, strukturze, która skłania inne cząsteczki do uderzenia lub połączenia, lub oddziaływania w taki sposób, by wprowadzić w ruch procesy komórkowe, takie jak wzrost, odbudowa lub reprodukcja. Pomimo że cząsteczki zawarte w komórce są całkowicie nieświadome, brak im celu i zamiaru, to ich fizyczna struktura pozwala na wykonywanie wysoce specjalistycznych zadań.

W tym sensie procesy życiowe są molekularnym błądzeniem w pełni opisanym przez prawa fizyki, które jednocześnie opowiada historię wyższego poziomu, opartą na przekazie informacji. Dla skały nie ma historii wyższego poziomu. Kiedy używasz praw fizyki do opisania drgań i zderzeń cząsteczek skały, to jest to wszystko. Ale kiedy używasz tych samych praw fizyki do opisania drgań i zderzeń cząsteczek królika, to jeszcze nie wszystko. Nie na dłuższą metę. Na historię redukcjonistyczną nakłada się cała dodatkowa opowieść o unikatowych wewnętrznych układach molekularnych królika, które kierują wyjątkową choreografią ruchów cząsteczek. To właśnie ten ruch cząsteczek wykonuje procesy wyższego rzędu wewnątrz komórek królika.

Rzeczywiście, w przypadku królika, a także ludzi taka informacja biologiczna jest również zorganizowana w większej skali i steruje procesami, które zachodzą nie tylko w obrębie poszczególnych komórek, lecz także w całych zbiorach komórek, co jest cechą charakterystyczną skoordynowanej złożoności. Kiedy sięgasz po filiżankę kawy, ruch każdego atomu będącego częścią każdej cząsteczki w twojej dłoni, ramieniu, ciele i mózgu jest w pełni regulowany prawami fizyki. I znowu: życie nie jest i nie może być sprzeczne z prawami fizyki, ale fakt, że ogromna liczba naszych cząsteczek może działać zgodnie, tak aby koordynować ruch ramienia sięgającego po kubek, odzwierciedla bogactwo informacji biologicznych, zawartych w układach atomowych i molekularnych, kierujących mnogością złożonych procesów molekularnych.

Życie jest organizowane przez fizykę.

Termodynamika i życie

Ewolucja, według Darwina, prowadzi do rozwoju struktur od molekuł do pojedynczych komórek, a potem złożonych organizmów wielokomórkowych. Entropia, według Boltzmanna, określa rozwój układów fizycznych, od unoszących się aromatów poprzez dudniące maszyny cieplne aż po płonące gwiazdy. Życie podlega obu tym przewodnim wpływom: powstało i zostało udoskonalone przez ewolucję. Życie, jak wszystkie układy fizyczne, podporządkowuje się dyktatowi entropii. W kilku ostatnich rozdziałach *Czym jest życie?* Schrödinger badał pozorne sprzeczności między nimi. Kiedy materia zespala się w życie, podtrzymuje ono porządek przez długi czasu. A gdy dokonuje reprodukcji, tworzy dodatkowe zbiory cząsteczek, które również kreują uporządkowane struktury. Gdzie w tym wszystkim jest entropia, nieporządek i drugie prawo termodynamiki?

Schrödinger wyjaśnił, że organizmy stawiają opór wzrostowi entropii, „zasilane ujemną entropią”[83]. To wyrażenie przez dziesięciolecia powodowało niewielkie zamieszanie i krytykę, ale jest jasne, że choć uczony wyraził to w nieco innym języku, jego wyjaśnienie jest właśnie tym, do którego dążymy: dwuetapowością entropii. Żywe organizmy nie są izolowane, a więc każde zastosowanie drugiego prawa musi uwzględniać ich otoczenie. Weźmy na przykład mnie. Przez ponad pół wieku z powodzeniem powstrzymywałem moją entropię przed wzrastaniem ponad miarę. Robiłem to, przyjmując uporządkowane struktury (głównie warzywa, orzechy i zboża), powoli je spalając (dzięki reakcjom redoks elektrony z żywności spływały kaskadą w dół po stopniach areny i w końcu łączyły się z wdychanym przeze mnie tlenem), wykorzystując uwolnioną energię do zasilania różnych czynności metabolicznych i wydalając entropię do środowiska w postaci odpadów i ciepła. Ogólnie rzecz biorąc, dwuetapowość pozwoliła mojej entropii pozornie zagrać drugiej zasadzie na nosie, podczas gdy środowisko pracowicie mnie wspierało, biorąc w swoje ręce

sprawy związane z entropią. Proces spalania, magazynowania i uwalniania energii w celu zasilania komórek jest bardziej skomplikowany niż odpowiedni proces, który napędza maszyny parowe, ale z punktu widzenia entropii cała fizyka jest taka sama.

Mniej kłopotliwe niż frazeologia Schrödingera jest źródło pożywienia o wysokiej jakości i niskiej entropii. Poczynając od zwierząt i idąc w dół łańcucha pokarmowego, napotykamy rośliny, które czerpią energię bezpośrednio ze świata słonecznego. Ich cykl energetyczny stanowi kolejny przykład dwuetapowości entropii. Fotony ze Słońca zaabsorbowane przez komórki roślinne wzbudzają do wyższych stanów energetycznych elektrony, które następnie maszyneria komórkowa (za pomocą serii reakcji redoks, które sprowadzają elektrony w dół poziomów energetycznych) wykorzystuje do zasilania różnych funkcji komórkowych. Fotony pochodzące ze Słońca są więc pożywieniem o niskiej entropii, które rośliny absorbują i wykorzystują do procesów życiowych, a następnie uwalniają jako zdegradowane odpady o wysokiej entropii (na każdy foton otrzymany ze Słońca Ziemia wysyła z powrotem w kosmos mniej uporządkowane i bardziej rozproszone dwa tuziny energetycznie zdegradowanych fotonów podczerwieni)[84].

Podążając jeszcze dalej szlakiem prowadzącym ku źródłu niskiej entropii, musimy znaleźć źródło Słońca, a to nakłada się na opowieść o grawitacji z rozdziału 3: grawitacja ściska obłoki gazu w gwiazdy, obniża wewnętrzną entropię i przez uwalnianie ciepła podnosi entropię otaczającego środowiska. Ostatecznie następuje zapłon reakcji jądrowych, gwiazdy płoną, a fotony ulatują strumieniem na zewnątrz. Kiedy taka gwiazda jest Słońcem, fotony, które docierają do Ziemi, są źródłem energii o niskiej entropii zasilającej metabolizm roślin, co wyjaśnia, dlaczego naukowcy często mówią, że grawitacja podtrzymuje życie. Choć to prawda, już teraz wiecie, że lubię rozdzielać wyrazy uznania sprawiedliwie, chwaląc grawitację za powodowanie zbrylania się materii i tworzenie stabilnych środowisk gwiezdnych, ale także muszę pochwalić syntezę jądrową za nieustanną produkcję strumienia fotonów wysokiej jakości przez miliony i miliardy lat.

Oddziaływanie jądrowe, w połączeniu z grawitacją, jest źródłem życiodajnego paliwa o niskiej entropii.

Ogólna teoria życia?

W swoich wykładach w 1943 roku Schrödinger podkreślał, że potok rozwoju nauki był tak intensywny, iż „niemożliwością stało się niemal, by umysł jednostki ogarnął więcej niż niewielki jej, wyspecjalizowany fragment”[85]. W związku z tym zachęcał myślicieli do poszerzania swojej wiedzy przez badanie jej poza tradycyjnym zasięgiem ich dziedziny. Dzięki *Czym jest życie?* zainteresował intuicję i wrażliwość fizyka zagadkami biologii.

Od tego czasu, w miarę jak wiedza stawała się coraz bardziej specjalistyczna, rosnąca społeczność badaczy nadal wsłuchuje się w interdyscyplinarne wezwanie Schrödingera. Wielu z nich na nie odpowiada. Naukowcy z różnych dziedzin, w tym między innymi fizyki wysokich energii, mechaniki statystycznej, informatyki, teorii informacji, chemii kwantowej, biologii molekularnej i astrobiologii, opracowali nowe wnikliwe sposoby badania natury życia. Zamykam ten rozdział, skupiając się na jednym z takich opracowań, które rozszerza nasz temat termodynamiczny, a jeśli program odniesie sukces, może pewnego dnia da odpowiedź na jedno z najważniejszych pytań nauki: Czy życie jest obarczone takim ryzykiem, że powstało tylko raz we Wszechświecie zawierającym setki miliardów galaktyk zawierających setki miliardów gwiazd, z których wiele ma orbitujące planety? A może życie wynika w sposób naturalny, może nawet jest nieuniknione, z pewnych podstawowych i stosunkowo powszechnych warunków środowiskowych, co sugeruje, że kosmos jest nim wypełniony?

Aby badać zagadnienia o tak szerokim zasięgu, potrzebujemy zasad o zasięgu porównywalnym. Do tej pory widzieliśmy wiele dowodów na szerokie zastosowanie termodynamiki, dziedziny fizyki, którą Einstein opisał jako jedyną, o której może śmiało powiedzieć, że „nigdy nie zostanie obalona”[86]. Być może analizując naturę życia –

jego źródło i ewolucję – możemy jeszcze bardziej rozszerzyć termodynamiczny punkt widzenia.

W ciągu ostatnich kilku dekad uczeni właśnie tym się zajmowali. Powstała dyscyplina badawcza (zwana *termodynamiką nierównowagową*), która systematycznie analizuje sytuacje, z jakimi obecnie spotykamy się wielokrotnie: energia o wysokiej jakości przepływa przez układ, zasilając dwuetapowość entropii i umożliwiając w ten sposób układowi zachowanie wewnętrznego uporządkowania, które w przeciwnym razie nie utrzymałoby się w ryzach. Belgijski fizykochemik Ilya Prigogine, który w 1977 roku otrzymał Nagrodę Nobla za swoją pionierską pracę w tej dziedzinie, opracował metodę matematyczną służącą do analizy konfiguracji materii, która mając niewyczerpane źródło energii, może się spontanicznie uporządkować – co Prigogine nazwał „porządkiem powstającym z chaosu". W liceum na porządnych lekcjach fizyki moglibyście się natknąć na prosty, ale imponujący przykład – komórki Bénarda. Gdy podgrzewa się płaskie naczynie z kałużą lepkiego oleju na dnie, na początku niewiele się dzieje, ale w miarę jak stopniowo zwiększa się strumień energii przepływającej przez ciecz, przypadkowe ruchy molekularne nabierają widocznego porządku. Patrząc w dół na olej, widzimy mozaikę małych sześciokątnych komórek. Patrząc z boku, obserwujemy płynącą ciecz tworzącą stabilny i regularny wzorzec, strumień unoszący się z dna każdej sześciokątnej komórki, sięgający jej szczytu, a następnie spływający z powrotem na jej dno.

Z punktu widzenia drugiej zasady termodynamiki taki spontaniczny porządek jest całkowicie niespodziewany. Powstaje on, ponieważ cząsteczki cieczy podlegają szczególnemu wpływowi środowiska: są nieustannie podgrzewane przez płomień. I ten nieustanny zastrzyk energii ma znaczący wpływ. W każdym układzie czasami występują spontaniczne fluktuacje, które chwilowo tworzą mały, zlokalizowany, uporządkowany wzorzec. Zazwyczaj takie drobne fluktuacje szybko rozpraszają się z powrotem do postaci nieuporządkowanej. Analiza Prigogine'a wykazała, że gdy cząsteczki znajdą się w pewnych szczególnych wzorcach, stają się szczególnie zdolne do absorpcji energii, a to stwarza im inny los. Jeśli układ fizyczny utrzymuje stały

przepływ skoncentrowanej energii z otoczenia, szczególne wzorce molekularne mogą wykorzystywać tę energię do podtrzymania lub nawet wzmocnienia swojej uporządkowanej postaci, jednocześnie wyrzucając zdegradowaną formę tej energii (mniej dostępną, bardziej rozproszoną) z powrotem do otoczenia. Mówi się, że uporządkowane wzorce rozpraszają energię, i dlatego nazywa się je *strukturami dysypatywnymi*. Całkowita entropia, razem z tą ze środowiska, wzrasta, ale przez stałe pompowanie energii do układu możemy wprowadzić i utrzymywać porządek dzięki zrównoważonej dwuetapowości entropii.

Powróćmy do Schrödingera: opis Prigogine'a pokrywa się z fizycznym wyjaśnieniem, jak organizmy powstrzymują wzrost entropii. Nie chodzi o to, że komórki Bénarda są żywe, ale o to, że żywe istoty są również strukturami dysypatywnymi, absorbującymi energię ze środowiska, wykorzystującymi ją do utrzymania lub wzmocnienia swojej uporządkowanej postaci i wydalającymi zdegradowaną formę tej energii z powrotem do środowiska. Wyniki Prigogine'a pozwoliły na matematycznie precyzyjną artykulację jego hasła „z chaosu ku porządkowi". Wielu kolejnych badaczy rozważało taką możliwość, że dalszy rozwój metody matematycznej może dać wgląd w to, jak niezbędne dla życia uporządkowane cząsteczki wyłoniły się z chaosu losowych ruchów cząsteczek na wczesnej Ziemi.

Spośród wielu prac składających się na ten program ostatnie wyniki Jeremy'ego Englanda (rozszerzające wcześniejsze osiągnięcia między innymi Christophera Jarzynskiego i Gavina Crooksa) są szczególnie ekscytujące[87]. Dzięki sprytnym matematycznym przekształceniom England wydobył implikacje drugiej zasady termodynamiki zastosowanej do układów zasilanych z zewnętrznego źródła energii. Aby zrozumieć jego wynik, wyobraźmy sobie, że znajdujemy się na huśtawce na placu zabaw. Każde dziecko intuicyjnie wie, jak w odpowiednim tempie trzeba poruszać nogami (i ciałem), aby huśtawka działała i utrzymywała płynny, rytmiczny ruch. A tempo to, zgodnie z podstawową fizyką, zależy od odległości między siedziskiem a osią obrotu huśtawki. Jeśli poruszacie nogami w niewłaściwym tempie, to rytmiczne niedopasowanie uniemożliwia

huśtawce wydajne pochłanianie dostarczanej energii, a więc nie będziecie się huśtać wysoko. Wyobraźcie sobie jednak, że ta huśtawka ma niezwykłą cechę: podczas poruszania nogami zmienia się długość huśtawki, co dostosowuje okres jej wahań do okresu ruchu nóg. Ta „adaptacja" pozwala huśtawce szybko dopasować się do rytmu, pobrać energię, którą jej przekazujecie, i szybko osiągać satysfakcjonującą wysokość w każdym cyklu. Następnie energia ruchu ciała jest pochłaniana przez huśtawkę, ale nie powoduje, że huśtawka wznosi się wyżej. Zamiast tego dostarczana przez was energia utrzymuje ją w ciągłym ruchu, przeciwdziałając siłom tarcia i wytwarzając odpady (ciepło, dźwięk itp.), które są rozpraszane z powrotem do otoczenia (zakładając, że nie jesteście takimi ryzykantami jak moja córka, która wyskakuje z siedziska huśtawki, gdy osiąga ona szczyt, i następnie rozprasza energię podczas upadku na ziemię).

Analiza matematyczna Englanda wykazała, że cząsteczki, które są „popychane" przez zewnętrzne źródło energii, mogą doświadczać czegoś podobnego do eskapady na plac zabaw. Początkowo nieuporządkowany zbiór cząsteczek może przystosować swoją konfigurację do „wpadnięcia w rytm" – stworzyć uporządkowanie, które skuteczniej pochłania energię ze środowiska, wykorzystuje ją do utrzymania lub wzmocnienia uporządkowanego wewnętrznego ruchu lub struktury, a następnie rozprasza zdegradowaną formę tej energii z powrotem do środowiska.

England nazywa ten proces *adaptacją dysypatywną*. Jest on potencjalnie uniwersalnym mechanizmem koncentracji pewnych układów molekularnych w celu wykonania procesu dwuetapowości entropii. A ponieważ właśnie to robią istoty żywe, aby żyć – pobierają energię wysokiej jakości, wykorzystują ją, a następnie zwracają energię niskiej jakości w postaci ciepła i innych odpadów – być może adaptacja dysypatywna była niezbędna do powstania życia[88]. England zauważa, że replikacja sama w sobie jest potężnym narzędziem adaptacji dysypatywnej: jeśli mały zbiór cząsteczek stał się zdolny do absorpcji, wykorzystania i wydalania energii, to dwa takie zbiory zdolność tę zwiększają, podobnie jak cztery lub osiem i tak dalej. Cząsteczki, które mogą się replikować, mogą być zatem

oczekiwanym rezultatem adaptacji dysypatywnej. A kiedy już na scenie pojawią się replikujące się cząsteczki, darwinizm molekularny może zacząć działać i zaczyna się dążenie ku życiu.

Te pomysły są na wczesnym etapie realizacji, ale nie mogę się oprzeć wrażeniu, że uszczęśliwiłyby Schrödingera. Wykorzystując podstawowe zasady fizyki, zrozumieliśmy mechanizm Wielkiego Wybuchu, tworzenia się gwiazd i planet, syntezy złożonych atomów, a teraz badamy, jak te atomy mogą konstruować replikujące się cząsteczki dobrze przystosowane do uzyskiwania energii ze środowiska w celu budowy i podtrzymywania swej uporządkowanej postaci. Dzięki molekularnemu darwinizmowi umożliwiającemu dobór coraz to lepszych zbiorów cząsteczek możemy sobie wyobrazić, jak niektóre z nich mogły uzyskać zdolność do przechowywania i przekazywania informacji. Instrukcja przekazywana z molekularnego pokolenia na pokolenie, zachowująca wypróbowane w walce strategie dopasowania, jest siłą napędową dominacji molekularnej. Działając przez setki milionów lat, procesy te mogły stopniowo powołać do istnienia pierwsze życie.

Bez względu na to, czy szczegóły tych pomysłów przetrwają przyszłe odkrycia, zarys historii życia według fizyki nabiera kształtu. I jeśli ta historia okaże się tak ogólna, jak sugerują ostatnie prace, życie może być powszechnym zjawiskiem w kosmosie. I choć jest ono bardzo ekscytującym zagadnieniem, to życie inteligentne jest zupełnie czymś innym. Odkrycie mikrobów na Marsie czy Europie – księżycu Jowisza – byłoby imponującym osiągnięciem, ale jako istoty myślące, porozumiewające się, twórcze, wciąż bylibyśmy sami.

Jaka jest więc droga od życia do świadomości?

47 List F.H.C. Cricka do E. Schrödingera, 12 sierpnia 1953 r.

48 J.D. Watson i F.H.C. Crick, *Molecular Structure of Nucleic Acids:A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid*, „Nature” 1953, nr 171, s. 737–738. Główną postacią była chemiczka i krystalografka Rosalind Franklin, której „fotografię 51” bez jej wiedzy Wilkins przekazał Watsonowi i Crickowi. To właśnie ta fotografia posłużyła Watsonowi i Crickowi do wykonania modelu DNA z podwójną helisą. Franklin zmarła w 1958 roku, cztery lata przed przyznaniem Nagrody Nobla za odkrycie struktury DNA – a nagrody tej nie można przyznać pośmiertnie. Gdyby Franklin jeszcze żyła, nie jest jasne, jak postąpiłby komitet noblowski. Zob. np. Brenda

Maddox, *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA*, Nowy Jork: Harper Perennial, Nowy Jork 2003.

49 Maurice Wilkins, *The Third Man of the Double Helix*, Oxford University Press, Oksford 2003, s. 84.

50 Erwin Schrödinger, *Czym jest życie? Fizyczne aspekty żywej komórki*, przeł. S. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998, s. 15.

51 „Time magazine", nr 41, wydanie 14 (5 kwietnia 1943 r.), s. 42.

52 Erwin Schrödinger, *Czym jest życie...*.

53 K.G. Wilson, *Critical phenomena in 3.99 dimensions*, „Physica" 1974, nr 73, s. 119. Zob. wykład noblowski Kena Wilsona w celu zapoznania się z popularnonaukowym omówieniem i odnośnikami tam zamieszczonymi: https://www.nobelprize.org.

54 Pojęcie zagnieżdżonych opowieści, czasami określane jako „poziomy zrozumienia" lub „poziomy wyjaśnienia", jest przywoływane w różnych postaciach przez uczonych z szerokiego kręgu dyscyplin naukowych. Psychologowie mówią o wyjaśnianiu zachowań na poziomie biologicznym (powołując się na przyczyny fizjologiczno-chemiczne), poznawczym (powołując się na wyższe funkcje mózgu) i kulturowym (powołując się na wpływy społeczne); niektórzy kognitywiści (cofając się do neurologa Davida Marra) w układach przetwarzania informacji wyróżniają poziomy: obliczeniowy, algorytmiczny i fizyczny. Wspólną cechą wielu schematów hierarchicznych, których zwolennikami są filozofowie i fizycy, jest *naturalizm* – termin często używany, ale trudny do precyzyjnego zdefiniowania. Większość używających go badaczy zgodziłaby się, że naturalizm odrzuca wyjaśnienia, które odwołują się do nadprzyrodzonych bytów, a zamiast tego opiera się wyłącznie na cechach świata przyrody. Oczywiście, aby to stanowisko było precyzyjne, musimy określić dostrzegalne granice tego, co stanowi świat przyrody – to zadanie, o którym łatwiej mówić, niż wykonać. Stoły i drzewa leżą całkowicie w jego obrębie, ale co z numerem pięć czy ostatnim twierdzeniem Fermata? A co z uczuciem radości lub doznaniem związanym z kolorem czerwonym? A co z ideałami niezbywalnej wolności i godności ludzkiej? Na przestrzeni lat takie pytania inspirowały wiele wariacji na temat naturalizmu. Jedno skrajne stanowisko głosi, że jedyna słuszna wiedza o świecie wywodzi się z pojęć i analiz naukowych – to stanowisko czasami nazywane „scjentyzmem". Również ten punkt widzenia wymaga od swoich zwolenników precyzyjnego zdefiniowania tych pojęć: Co stanowi naukę? Oczywiste jest, że jeżeli naukę rozumiemy jako wnioski oparte na obserwacjach, doświadczeniu i racjonalnym myśleniu, to jej granice znacznie wykraczają poza dyscypliny, którymi zazwyczaj zajmują się wydziały naukowe uniwersytetów. Jak można sobie wyobrazić, skutkuje to twierdzeniami znacznie przekraczającymi granice nauki. Mniej skrajne stanowiska wiążą naturalizm

z różnymi zasadami porządkującymi. Filozof Barry Stroud od początku opowiadał się za „ekspansywnym lub wolnym od uprzedzeń naturalizmem", w którym granice wyjaśnień nie są na wieki wyryte w kamieniu. Zamiast tego naturalizm ekspansywny rezerwuje sobie wolność budowania warstw zrozumienia, które przywołują wszystko, od materialnych składników natury przez cechy psychologiczne aż po abstrakcyjne twierdzenia matematyczne, które są potrzebne do wyjaśnienia obserwacji, doświadczeń i analiz (Barry Stroud, *The Charm of Naturalism*, „Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association" 1996, nr 70 [2], s. 43–55). Filozof John Dupré opowiedział się za „naturalizmem pluralistycznym", który stwierdza, że marzenie o jedności w nauce jest niebezpiecznym mitem, a zamiast tego nasze wyjaśnienia muszą się wyłonić ze „zróżnicowanych i nakładających się na siebie projektów badań", które obejmują tradycyjne dziedziny nauki i nie tylko (w tym między innymi historię, filozofię i sztukę) (John Dupré, *The Miracle of Monism*, w: *Naturalism in Question*, red. Mario de Caro i David Macarthur, Harvard University Press, Cambridge, MA 2004, s. 36–58). Stephen Hawking i Leonard Mlodinow wprowadzili pojęcie „realizmu zależnego od modelu"; opisuje on rzeczywistość w kategoriach zbioru odrębnych opowieści, z których każda opiera się na innym modelu lub ramach teoretycznych wyjaśniających obserwacje, czy to w mikroświecie cząstek, czy w makroświecie codziennych zdarzeń (Stephen Hawking i Leonard Mlodinow, *Wielki projekt*, przeł. J. Włodarczyk, Wydawnictwo Albatros, Warszawa 2019). Fizyk Sean Carroll wprowadził pojęcie „naturalizmu poetyckiego", by odwołać się do wyjaśnień, które rozszerzają naukowy naturalizm o język i pojęcia z różnych dziedzin (Sean Carroll, *Nowa perspektywa: pochodzenie życia, świadomości i wszechświata*, przeł. U. i M. Seweryńscy, Prószyński i S-ka, Warszawa 2017). E.O. Wilson używa terminu „konsiliencja" (rozdział 1, przyp. 4) na określenie połączenia wiedzy z bardzo różnych dyscyplin w celu osiągnięcia głębi zrozumienia, w przeciwnym razie nieosiągalnej. Nie przepadam za żargonem, ale gdybym miał określić własny pogląd, taki, który będzie nicią przewodnią dyskusji w tej książce, nazwałbym go „naturalizmem zagnieżdżonym". Naturalizm zagnieżdżony, jak to zostanie wyjaśnione w tym i następnych rozdziałach, angażuje się w wartość i uniwersalność zastosowań redukcjonizmu. Zakłada on, że istnieje fundamentalna jedność w funkcjonowaniu świata i że taką jedność odnajdziemy, realizując program redukcjonistyczny do takiej głębokości, do jakiej on prowadzi. Wszystko, co dzieje się w świecie, można opisać w kategoriach podstawowych składników natury, podlegających jej podstawowym prawom. Naturalizm zagnieżdżony podkreśla jednak również, że taki opis ma ograniczoną moc wyjaśniania. Istnieje wiele innych poziomów zrozumienia, które owijają się wokół redukcjonistycznej relacji, tak jak zewnętrzne części gniazda owijają się wokół jego najbardziej wewnętrznej struktury. I w zależności od zadawanych pytań te inne opowieści wyjaśniające mogą udzielić odpowiedzi, znacznie bardziej wnikliwych niż te, które daje redukcjonizm. Wszystkie relacje muszą być wzajemnie spójne, ale na wyższych poziomach mogą pojawić się nowe i użyteczne pojęcia, które nie

dopuszczają korelacji na niższych poziomach. Na przykład gdy mamy do czynienia z wieloma cząsteczkami wody, pojęcie fali ma sens i jest użyteczne. W przypadku badania pojedynczej cząsteczki wody już sensu nie ma. Podobnie badając bogate i różnorodne opowieści o ludzkich doświadczeniach, naturalizm zagnieżdżony z każdego poziomu struktury swobodnie powołuje się na te relacje, które najlepiej wyjaśniają zagadnienie i jednocześnie pasują do spójnego opisu.

55 Odniesienia do „życia" wszędzie rozumiemy domyślnie jako „życie takie, jakie znamy, na planecie Ziemi".

56 Jedną z istotnych przeszkód w tworzeniu atomów o dużych masach atomowych jest brak stabilnych jąder zawierających pięć lub osiem nukleonów. W miarę jak jądra powstają dzięki sekwencyjnemu dodawaniu protonów i neutronów (jądra wodoru i helu), niestabilność na etapach piątym i ósmym wyznacza „wąskie gardło" utrudniające nukleosyntezę po Wielkim Wybuchu.

57 Podane przeze mnie proporcje zapewniają względną obfitość w odniesieniu do masy. Ponieważ każde jądro helu ma około czterech razy większą masę niż każde jądro wodoru, to liczba atomów wodoru w porównaniu z liczbą atomów helu daje inny stosunek, około 92 procent wodoru i 8 procent helu.

58 Pełną historię można znaleźć w: Helge Kragh, *Naming the Big Bang*, „Historical Studies in the Natural Sciences" 2014, nr 44 (1), s. 3. Kragh sugeruje, że chociaż Hoyle preferował własną teorię kosmologiczną (model stanu stacjonarnego, w którym Wszechświat zawsze istniał), to jednak użycie przez niego określenia „Wielki Wybuch" mogło nie być drwiną. Po prostu Hoyle mógł zastosować ten termin jako barwny sposób odróżnienia swojej teorii od tej konkretnej konkurencyjnej.

59 S.E. Woosley, A. Heger, T.A. Weaver, *The evolution and explosion of massive stars*, „Reviews of Modern Physics" 2002, nr 74, s. 1015.

60 W jednym z badań przeanalizowano setki tysięcy możliwych trajektorii i stwierdzono, że prawie wszystkie wymagałyby wyrzucenia Słońca z tak dużą prędkością, iż albo straciłoby ono swój dysk protoplanetarny, albo gdyby planety już powstały, zostałyby rozproszone (Bárbara Pichardo, Edmundo Moreno, Christine Allen i in., *The Sun was not born in M67*, „The Astronomical Journal" 2012, nr 143 [3], s. 73). W innym opracowaniu, w którym przyjęto odmienne założenie dla miejsca, w którym powstał sam Messier 67, zasugerowano, że mniejsza prędkość wyrzutu może być wystarczająca do wystrzelenia Słońca, a przy tej prędkości planety lub dysk protoplanetarny pozostaną nienaruszone (Timmi G. Jørgensen i Ross P. Church, *Stellar escapers from M67 can reach solar-like Galactic orbits*, arxiv.org, arXiv:1905.09586).

61 A.J. Cavosie, J.W. Valley, SA Wilde, *The Oldest Terrestrial Mineral Record: Thirty Years of Research on Hadean Zircon from Jack Hills, Western Australia*, w: *Earth's Oldest Rocks*, red. M.J. Van Kranendonk, Elsevier, Nowy Jork 2018, s. 255–278. Najnowsze dane są zgodne z oryginalnymi badaniami opisanymi w: John W. Valley, William H. Peck, Elizabeth M. King, Simon A. Wilde, *A Cool Early Earth*, *Geology* 2002, nr 30, s. 351–354; John Valley, rozmowa osobista, 30 lipca 2019 r.

62 Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*, Penguin Books, Londyn 1958, s. 16.

63 Max Born, *Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge*, „Zeitschrift für Physik" 1926, nr 37 (12), s. 863. W pierwotnej wersji swego artykułu Born powiązał kwantowe funkcje falowe bezpośrednio z prawdopodobieństwem, ale w przypisie dodanym później skorygował ten związek, tak aby dotyczył on funkcji falowej podniesionej do kwadratu.

64 Zasada Wolfganga Pauliego (zakaz Pauliego), którą omówimy w rozdziale 9, jest również istotna dla określenia dopuszczalnych kwantowych orbitali elektronów wokół jądra. Zakaz Pauliego oznacza, że dwa elektrony (bardziej ogólnie, dwie cząstki materii tego samego typu) nie mogą zajmować tego samego stanu kwantowego. W konsekwencji poszczególne orbitale kwantowe wyznaczane przez równanie Schrödingera mogą pomieścić co najwyżej jeden elektron (lub – jeśli włączymy w to spinowy stopień swobody – dwa elektrony). Wiele z tych orbitali ma tę samą energię, co w naszej analogii odpowiada siedzeniom, które znajdują się na tym samym poziomie w teatrze kwantowym. Jednak gdy już każde z miejsc jest zajęte – gdy każdy z orbitali jest zajęty – ten poziom nie może pomieścić dodatkowych elektronów.

65 Jeśli przypomnisz sobie swoją chemię ze szkoły średniej, zdasz sobie sprawę, że dokonałem małego uproszczenia. W bardziej precyzyjnym opisie chciałbym zauważyć, że (za sprawą mechaniki kwantowej) atomy organizują swoje poziomy w różne podpoziomy, na których momenty pędu mają różne wartości. Czasami wyższy poziom, o mniejszym momencie pędu, ma mniejszą energię niż niższy, o większym momencie pędu. Jeśli tak, to elektrony zasiedlą ten podpoziom wyższy przed ukończeniem zasiedlania niższego.

66 Ściślej mówiąc: stabilność można osiągnąć, gdy zewnętrzna podpowłoka atomu (jego powłoka walencyjna) jest pełna. Możesz sobie przypomnieć ze szkoły średniej „regułę ośmiu", która mówi, że atomy zwykle potrzebują ośmiu elektronów w swojej powłoce walencyjnej, albo więc oddadzą lub pobiorą elektrony, albo podzielą się nimi z innymi atomami, aby osiągnąć tę liczbę.

67 Albert Szent-Györgyi, *Biology and Pathology of Water*, „Perspectives in Biology and Medicine" 1971, nr 14 (2), s. 239.

68 W tym rozdziale koncentrujemy się na roślinach i zwierzętach, które składają się z komórek eukariotycznych (komórek zawierających jądro). Badacze twierdzą więc, że linie te zbiegają się na „ostatnim wspólnym przodku eukariotycznym", czyli LECA. Jeśli weźmiemy pod uwagę również bakterie i archeowce, to rodowody zbiegają się dalej wstecz na „ostatnim wspólnym przodku" (LUCA).

69 A. Auton, L. Brooks, R. Durbin, i in., *A global reference for human genetic variation*, „Nature" 2015, nr 526 (7571), s. 68.

70 Naukowcy opracowali różne metody porównywania nakładających się na siebie DNA różnych gatunków. Jedno z podejść porównuje pary zasad dla tych genów, w których gatunek ma udział (co jest źródłem około 1% różnicy genetycznej między człowiekiem a szympansem), a drugie porównuje całe genomy (co daje nieco większą różnicę genetyczną między człowiekiem a szympansem).

71 Badacze właściwie opisują kod wyjaśniony w następnym paragrafie jako „prawie" uniwersalny, co odzwierciedla fakt, że w szczególnych przypadkach odkryto odmiany. Niemniej jednak nawet te skromne modyfikacje mają taką samą podstawową strukturę kodowania jak ta opisana w rozdziale.

72 Dzięki trzyliterowym kodom i czterem różnym literom istnieją 64 możliwe kombinacje. Ponieważ jednak sekwencje te kodują tylko 20 aminokwasów, wiele różnych sekwencji może kodować ten sam aminokwas. Z historycznego punktu widzenia wśród pierwszych prac odkrywających ten kod genetyczny były następujące: F.H.C. Crick, Leslie Barnett, S. Brenner i R.J. Watts-Tobin, *General nature of the genetic code for protein*, „Nature" 1961, nr 192, s. 1227–1232; J. Heinrich Matthaei, Oliver W. Jones, Robert G. Martin i Marshall W. Nirenberg, *Characteristics and Composition of Coding Units*, „Proceedings of the National Academy of Sciences" 1962, nr 48 (4), s. 666–677. Do połowy lat sześćdziesiątych dzięki wysiłkom wielu badaczy, w szczególności Marshalla Nirenberga, Roberta Holleya i Har Gobind Khorana, kod został ukończony, za co ci trzej uczeni otrzymali w 1968 roku Nagrodę Nobla.

73 Dokładna definicja genu jest nadal przedmiotem debaty. Oprócz kodowania informacji o białku gen zawiera sekwencje pomocnicze (nie muszą one przylegać do kodowanego regionu), które mogą wpływać na sposób wykorzystania przez komórkę zakodowanych danych (oprócz innych funkcji regulujących może to być np. zwiększenie lub zahamowanie tempa produkcji danego białka).

74 Kluczowe spostrzeżenie – odkrycie protonowych prądów elektrycznych napędzających syntezę ATP – było dziełem brytyjskiego biochemika Petera Mitchella, za co otrzymał on w 1978 roku Nagrodę Nobla (P. Mitchell, *Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemicalosmotic type of mechanism*, „Nature" 1961, nr 191, s. 144–148). Chociaż różne szczegóły propozycji Mitchella wymagały późniejszego dopracowania, to Nagroda Nobla

została przyznana za jego wgląd w „biologiczny transfer energii". Mitchell był niezwykłym naukowcem. Zmęczony światem akademickim (współczuję), założył niezależną firmę charytatywną Glynn Research, w której on i jego koledzy wraz z dziesięcioosobowym zespołem prowadzili badania biochemiczne. Szczegóły jego fascynującego życia opisali John Prebble i Bruce Weber w: *Wandering in the Gardens of the Mind: Peter Mitchell and the Making of Glynn* (Oxford University Press, Oksford 2003). Szczegółowe informacje na temat współczesnego rozumienia pozyskiwania i transportu energii w komórkach można znaleźć na przykład w: Bruce Alberts i in., *Molecular Biology of the Cell*, wyd. 5 (Garland Science, Nowy Jork 2007), rozdział 14. Uważny czytelnik zauważy jedno z zastrzeżeń do uniwersalności tego procesu: ekstrakcja energii przez *fermentację* (proces ekstrakcji energii, który nie wykorzystuje tlenu).

75 *O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego, czyli o utrzymaniu się doskonalszych ras w walce o byt*, przeł. S. Dickstein, J. Nusbaum, De Agostini Polska, Warszawa 2011.

76 W mojej analogii wyobrażam sobie biznes powtarzający wielokrotnie swój produkt na zasadzie prób i błędów. Istnieją jednak inne sposoby na skuteczniejsze wykorzystanie metody prób i błędów. Na przykład opracowując różne algorytmy obliczeniowe, informatycy zaczynają od jednego algorytmu, losowo go modyfikują, odrzucają te modyfikacje, które zmniejszają szybkość algorytmu, a następnie dalej modyfikują te, które pozostają (zmodyfikowane algorytmy zwiększające szybkość). Iterując tę procedurę, mamy do czynienia z podejściem inspirowanym doborem naturalnym, które próbkuje szeroki wachlarz możliwości, co prowadzi do szybszych procedur obliczeniowych. Oczywiście, badanie zmodyfikowanych algorytmów na komputerze jest znacznie mniej kosztowne niż wypuszczanie losowo zmodyfikowanego produktu na rynek. Metoda ślepych prób i błędów może więc być użyteczną strategią w różnych zadaniach, o ile koszt zarówno czasu, jak i zasobów użytych do wielokrotnego powtarzania losowych modyfikacji jest niewielki (lub jeśli modyfikacje mogą być testowane na skalę masową równolegle).

77 Eric T. Parker, Henderson J. Cleaves, Jason P. Dworkin, i in., *Primordial synthesis of amines and amino acids in a 1958 Miller H2S-rich spark discharge experiment*, „Proceedings of the National Academy of Sciences" 2011, nr 108 (14), s. 5526.

78 Ściany komórkowe mogą się w naturalny sposób tworzyć z powszechnie dostępnych związków chemicznych, takich jak kwasy tłuszczowe, których jeden koniec poszukuje wody, a drugi jej unika. Związek z wodą może powodować koncentrację takich cząsteczek, tworząc bariery o podwójnej szerokości, z lubiącymi wodę końcami cząsteczek na zewnątrz i tymi unikającymi wody utrzymującymi obie ściany razem – ścianę komórkową. Dyskusja w kontekście

scenariusza świata RNA zob. G.F. Joyce i J.W. Szostak, *Protocells and RNA Self-Replication*, „Cold Spring Harbor Perspectives in Biology" 2018, nr 10 (9).

79 Różni badacze, w tym między innymi chemik Svante Arrhenius, astronom Fred Hoyle, astrobiolog Chandra Wickramasinghe i fizyk Paul Davies, zasugerowali, że niektóre z opadających skał mogły same nosić szczególnie odporne nasiona życia, gotowe cząsteczki, które mogłyby replikować i katalizować reakcje. Co intrygujące, propozycja ta, podnosząc kwestię prawdopodobieństwa, iż żywe skały kosmiczne mogły wylądować na wielu planetach w kosmosie, nie zwiększa naszej wiedzy o pochodzeniu życia, ponieważ przesuwa ona *clou* dyskusji na kwestię genezy nasion.

80 David Deamer, *Assembling Life: How Can Life Begin on Earth and Other Habitable Planets?*, Oxford University Press, Oksford 2018.

81 A.G. Cairns-Smith, *Seven Clues to the Origin of Life*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.

82 W. Martin, M.J. Russell, *On the origin of biochemistry at an alkaline hydrothermal vent*, „Philosophical Transactions of the Royal Society B" 2007, nr 367, s. 1187.

83 Erwin Schrödinger, *Czym jest życie?...*, s. 86.

84 Energia przenoszona przez przychodzące fotony jest bardziej skoncentrowana (ich długości fal są krótsze, leżą w widzialnej części widma, a ich liczba jest mniejsza) i tym samym ma wyższą jakość; ta przenoszona przez wychodzące fotony jest bardziej rozcieńczona (ich długości fal są dłuższe, leżą w podczerwieni, a ich liczba jest większa), ma zatem niższą jakość. Użyteczność energii słonecznej wynika więc nie tylko z ilości energii dostarczanej przez Słońce, lecz także z jej wysokiej jakości, przenosi ona bowiem znacznie mniejszą entropię niż ciepło uwalniane z powrotem w przestrzeń przez Ziemię. Jak zauważono w tym rozdziale, na każdy foton, który Ziemia otrzymuje od Słońca, wypromieniowuje z powrotem w przestrzeń kosmiczną około 20 cząstek tego rodzaju. Aby oszacować tę liczbę, należy zauważyć, że fotony ze Słońca emitowane są ze środowiska, którego temperatura wynosi około 6000 K (temperatura powierzchni Słońca), natomiast te uwalniane przez Ziemię są emitowane ze środowiska, którego temperatura wynosi około 285 K (temperatura powierzchni Ziemi). Energia fotonu jest proporcjonalna do takich temperatur (jeśli uznamy fotony za idealny gaz cząstek), a zatem stosunek fotonów pochłoniętych przez Ziemię ze Słońca, a następnie uwolnionych ponownie, jest wyznaczany przez stosunek tych dwóch temperatur: 6000 K/285 K, czyli około 21 fotonów.

85 Erwin Schrödinger, *Czym jest życie?*..., s. 13.

86 Albert Einstein, *Zapiski autobiograficzne*, przeł. J. Bieroń, Znak, Kraków 1996. Piękny przykład współczesnego traktowania zasad termodynamiki w kontekście systemów żywych, wzbogacony wnikliwymi przykładami ilustrującymi wiele istotnych koncepcji, na które się powołujemy, zob. Philip Nelson, *Biological Physics: Energy, Information, Life*, W.H. Freeman and Co., Nowy Jork 2014.

87 J.L. England, *Statistical physics of self-replication*, „Journal of Chemical Physics" 2013, nr 139, s. 121923; Nikolay Perunov, Robert A. Marsland i Jeremy L. England, *Statistical Physics of Adaptation*, „Physical Review X" 2016, nr 6, s. 021036–1; Tal Kachman, Jeremy A. Owen i Jeremy L. England, *Self-Organized Resonance During Search of a Diverse Chemical Space*, „Physical Review Letters" 2017, nr 119 (3), s. 038001–1. Zob. także G.E. Crooks, *Entropy production fluctuation theorem and the nonequilibrium work relation for free energy differences*, „Physical Review E" 1999, nr 60, s. 2721; C. Jarzynski, *Nonequilibrium equality for free energy differences*, „Physical Review Letters" 1997, nr 78, s. 2690.

88 England zwraca również uwagę na to, że ponieważ struktura fizyczna żywej istoty nie jest uporządkowana tylko chwilowo, ale utrzymuje swój porządek przez długie okresy – nawet przez pewien okres po jej śmierci – to znaczna część strat energii stanowi produkt uboczny budowy takich stabilnych struktur. W odniesieniu do życia może więc być tak, że dominującym wkładem w dwuetapowość entropii, oprócz ciągłego zachowywania homeostazy, jest tworzenie struktur. Należy również zauważyć, że układy żywe muszą pobierać energię wysokiej jakości, i to w tej formie, która nie zakłóca wewnętrznej organizacji układu. Zilustrujmy to przykładem: można wprawić w drgania kieliszek do wina za pomocą tonu, który ma odpowiednią częstotliwość, ale jeśli zostanie mu przekazane zbyt dużo energii, szkło może się rozbić. Aby uniknąć analogicznego efektu, niektóre stopnie swobody w układzie rozpraszającym mogą tworzyć konfiguracje, które unikają rezonansu z energią pochodzącą z otoczenia. Życie wymaga odpowiedniej równowagi pomiędzy tymi ekstremami.

Rozdział 5
Cząstki i świadomość

Od życia do umysłu

W jakimś momencie po pojawieniu się pierwszych komórek prokariotycznych cztery miliardy lat temu, w złożoności 90 miliardów neuronów ludzkiego mózgu splątanych w sieć 100 bilionów połączeń synaptycznych wyłoniły się zdolności myślenia i odczuwania, kochania i nienawiści, strachu i tęsknoty, poświęcenia i czci, wyobrażania i tworzenia – które zapoczątkowały spektakularne osiągnięcia, jak również nieopisane zniszczenia. „Wszystko bowiem ma początek w świadomości i tylko poprzez nią zyskuje wartość”[89] – tak określił to Albert Camus. A jednak do ostatnich lat świadomość była niechcianym słowem w naukach ścisłych. Oczywiście, badaczom u schyłku ich kariery można wybaczyć zwrot ku marginalnemu tematowi, jakim jest umysł, ale celem głównego nurtu badań naukowych jest zrozumienie obiektywnej rzeczywistości. I dla wielu świadomość, i to przez długi czas, do tego nurtu nie była zakwalifikowana. Głos gadający w czyjejś głowie – no cóż, słychać go tylko w jego głowie.

Jest to postawa nacechowana ironią. *Cogito, ergo sum* Kartezjusza podsumowuje nasz kontakt z rzeczywistością. Wszystko inne może być iluzją, ale myślenie jest jedynym, czego nawet niereformowalny sceptyk może być pewien. I niezależnie od stwierdzenia Ambrose’a Bierce’a „Myślę, że myślę, dlatego myślę, że jestem”[90], jeśli myślisz, to argument za istnieniem jest silny. Dla nauki obojętność wobec

świadomości byłaby odwróceniem się od istoty, jedynej rzeczy, na którą każdy z nas może liczyć. Rzeczywiście, przez tysiące lat wielu negowało ostateczność śmierci, uzależniając egzystencjalną nadzieję od świadomości. Ciało umiera. To jest oczywiste, ewidentne, niezaprzeczalne. Jednak nasz na pozór bezustanny wewnętrzny głos, jak i liczne myśli, doznania i emocje wypełniające każdy z naszych subiektywnych światów, przemawiają do eterycznej osobowości, która, jak niektórzy sobie wyobrażają, stoi poza podstawowymi faktami fizycznej egzystencji. Atman, anima, nieśmiertelna dusza – nadano temu wiele nazw, ale wszystkie kojarzą się z wiarą, że świadome „ja" sięga po coś, co przewyższa formę fizyczną, coś, co wykracza poza tradycyjną mechanistyczną naukę. Umysł nie tylko więzi nas w rzeczywistości, ale i być może więzi nas w wieczności.

W tym leży bardziej odkrywcze wytłumaczenie, dlaczego nauki ścisłe od dawna opierają się wszystkiemu, co ma związek ze świadomością. Na każdą wzmiankę o domenach leżących poza zasięgiem praw fizyki nauka reaguje irytującym grymasem, obrotem na pięcie i szybkim powrotem do laboratorium. Takie szyderstwo stanowi dominującą postawę naukową, ale również podkreśla istotną lukę w naukowej narracji. Musimy jeszcze sformułować solidne naukowe wyjaśnienie świadomego doświadczania. Brakuje nam rozstrzygającego wyjaśnienia, jak przez świadomość ujawnia się ukryty świat widzenia, słyszenia i doznawania. Nie możemy jeszcze odpowiedzieć, a przynajmniej nie z pełnym przekonaniem, na twierdzenie, że zagadnienie świadomości leży poza domeną konwencjonalnej nauki. Jest mało prawdopodobne, by sytuacja wkrótce uległa zmianie. Większość tych, którzy badali procesy myślenia, zdaje sobie sprawę, że rozgryzienie świadomości, wyjaśnienie naszego świata wewnętrznego za pomocą pojęć czysto naukowych stanowi ogromne wyzwanie.

Isaac Newton zapoczątkował współczesną naukę, znajdując wzorce w dostępnych dla ludzkich zmysłów częściach rzeczywistości, i skodyfikował je, nadając im postać praw ruchu. Przez wieki, jakie upłynęły, zdaliśmy sobie sprawę, że aby pójść dalej niż Newton, trzeba wytyczyć trzy odmienne szlaki. Musieliśmy zrozumieć rzeczywistość w skali znacznie mniejszej od tej, którą brał on pod

uwagę, co doprowadziło nas do fizyki kwantowej, która wyjaśniła zachowanie się cząstek podstawowych oraz między innymi procesy biochemiczne leżące u podstaw życia. Musieliśmy także zrozumieć rzeczywistość w skali o wiele większej niż ta rozważana przez Newtona – to droga, która zaprowadziła nas do ogólnej teorii względności i za jej pomocą wyjaśniła grawitację, powstawanie gwiazd i planet niezbędnych do pojawienia się życia. A podążając ku trzeciej granicy, najbardziej przypominającej labirynt, musimy zrozumieć rzeczywistość w skali znacznie bardziej skomplikowanej, niż rozważał to Newton, to ścieżka, która, jak przewidujemy, wyjaśni, jak wielki musi być zbiór cząsteczek, aby pojawiło się w nim życie i powstał umysł.

Ćwicząc swoją intelektualną potęgę na bardzo uproszczonych zagadnieniach – zaniedbując na przykład kłębiące się wewnętrzne struktury Słońca i planet oraz traktując każde z nich jak kulę utworzoną z ciała stałego – Newton postąpił właściwie. Sztuka nauki, której był mistrzem, polega na dokonywaniu rozsądnych uproszczeń i dzięki nim rozwiązywaniu zagadnień, tak by zachować jednocześnie na tyle ich istotę, aby wyciągnięte wnioski były użyteczne. Wyzwanie polega na tym, że uproszczenia skuteczne dla jednej klasy problemów mogą być mniej skuteczne w odniesieniu do innych. Przyjmij, że planety są kulami, a z łatwością i precyzją obliczysz ich trajektorie. Załóż, że twoja głowa jest utworzona z ciała stałego, a wgląd w naturę umysłu będzie mniej pouczający. Jednak odrzucenie nieproduktywnych przybliżeń i zbadanie wewnętrznego działania układu zawierającego tyle cząsteczek, ile ma mózg – co jest celem chwalebnym – wymagałoby opanowania poziomu złożoności daleko wykraczającego poza możliwości dzisiejszych najbardziej zaawansowanych metod matematycznych i obliczeniowych.

W ostatnich latach nastąpiły zmiany, uzyskano dostęp do obserwowalnych i mierzalnych cech aktywności mózgu, które przynajmniej umożliwiają wgląd w procesy towarzyszące świadomym doznaniom. Kiedy naukowcy mogą korzystać z funkcjonalnego rezonansu magnetycznego do śledzenia przepływu krwi podczas aktywności neuronowej lub głęboko sondować mózg w celu

rejestracji impulsów elektrycznych biegnących wzdłuż pojedynczych neuronów, lub używać elektroencefalogramów do monitorowania elektromagnetycznych fal w całym mózgu, a gdy dane ujawniają wyraźne wzorce odzwierciedlające zarówno obserwowane zachowanie, jak i raporty z wewnętrznych doznań, argumentacja za zbliżeniem się do świadomości jako zjawiska fizycznego ulega znacznemu wzmocnieniu. Rzeczywiście, zachęceni przez te imponujące postępy odważni naukowcy uznali, że dojrzał czas do opracowania naukowych podstaw świadomych doznań.

Świadomość i gawędzenie

Kilka lat temu podczas gorącej wymiany zdań na temat roli matematyki w opisywaniu Wszechświata z całą stanowczością powiedziałem gospodarzowi telewizyjnego talk-show, że nie jest on niczym innym jak workiem cząstek rządzących się prawami fizyki. Nie był to żart, choć on bez mrugnięcia okiem w żart to obrócił. („Hej, to niezły tekst na podryw"). I nie była to drwina, bo to, co jest prawdziwe w jego przypadku, odnosi się również do mnie. Natomiast uwaga ta wynikała z głęboko zakorzenionego we mnie redukcjonizmu, według którego dzięki pełnemu zrozumieniu podstawowych składników Wszechświata możemy opowiedzieć ścisłą i stanowiącą zamkniętą całość historię rzeczywistości. Nie mamy gotowego szkicu tej historii w ręku, ponieważ wiele problemów na froncie badań pozostaje nierozwiązanych i z niektórymi z nich spotkamy się wkrótce. Mogę jednak wyobrazić sobie przyszłość, w której naukowcy będą w stanie przedstawić matematycznie kompletne sformułowanie podstawowych mikrofizycznych procesów leżących u podstaw wszystkiego, co gdziekolwiek i kiedykolwiek się wydarza.

Jest coś pocieszającego w tej wizji, coś, co z wdziękiem rezonuje z mającą dwa i pół tysiąca lat opinią Demokryta: „Słodkie jest słodkie, gorzkie jest gorzkie, gorące jest gorące, zimne jest zimne, kolor jest kolorem; ale w rzeczywistości istnieją tylko atomy i pustka"[91]. Co można rozumieć tak, że wszystko wyłania się z tego

samego zbioru składników rządzonych tymi samymi prawami fizyki. A prawa te, o czym świadczy kilkaset lat obserwacji, eksperymentowania i teoretyzowania, zostaną prawdopodobnie wyrażone kilkoma symbolami ułożonymi w mały zbiór matematycznych równań. To jest właśnie elegancki Wszechświat[92].

Ten opis, tak potężny, pozostanie zaledwie jedną z wielu historii, które opowiadamy. Mamy bowiem zdolność do zmiany zainteresowań, zmiany decyzji, zaangażowania się w świat na wiele różnych sposobów. Gdy pełny opis redukcjonistyczny zapewniłby podstawy naukowe, inne opisy rzeczywistości, inne historie, dostarczyłyby spostrzeżeń, które wielu uważa za bardziej istotne, ponieważ są bliższe doznań. Opowiadanie niektórych takich historii, jak już widzieliśmy, wymaga nowych koncepcji i nowego języka. Entropia pomaga nam opowiedzieć historię chaosu i organizacji wewnątrz dużych zbiorowisk cząstek, niezależnie od tego, czy unoszą się one z piecyka, czy zespalają w gwiazdy. Ewolucja opowiada historię przypadku i doboru, gdy zbiory cząsteczek – tworzących struktury żywe lub nie – replikują się, mutują i stopniowo stają się lepiej przystosowane do swojego środowiska.

Historia, którą wielu wciąż uważa za jeszcze bardziej istotną, skupia się na świadomości. Zrozumienie, czym są myśli, emocje i wspomnienia, to zrozumienie istoty ludzkiego doznania. Jest to również historia wymagająca punktu widzenia jakościowo odmiennego od tych, które przyjmowaliśmy do tej pory. Entropia, ewolucja i życie mogą być badane „na zewnątrz". Możemy w pełni opowiedzieć te historie jako relacje osób trzecich. Jesteśmy świadkami tych historii i jeśli okażemy się wystarczająco sumienni, nasza relacja może być wyczerpująca. Te historie nie skrywają żadnej tajemnicy.

Opowieść, która odnosi się do świadomości, jest inna. Opowieść, która wnika w wewnętrzne doznania wzrokowe lub dźwiękowe, uniesienia lub smutki, uczucie komfortu lub bólu, spokoju lub niepokoju, opiera się na relacjach z pierwszej ręki. Jest to opowieść oparta na wewnętrznym głosie świadomości czytanym z osobistego scenariusza, którego na pozór każdy z nas jest autorem. Nie tylko doznaję subiektywnego świata, lecz także mam wyraźne poczucie, że

z wnętrza tego świata kontroluję swoje działania. Bez wątpienia, gdy chodzi o twoje działania, masz podobne poczucie. Do cholery z prawami fizyki. Ja myślę, więc ja panuję nad tym, co robię. Zrozumienie Wszechświata na poziomie świadomości wymaga opowieści, która może borykać się z całkowicie osobistą i pozornie autonomiczną subiektywną rzeczywistością.

Wyjaśniając, czym jest świadome postrzeganie, napotykamy zatem dwa różne, lecz powiązane ze sobą wyzwania. Czy sama materia może tworzyć wrażenia wnikające do stanu świadomości? Czy nasze świadome poczucie autonomii nie może być niczym więcej niż prawami fizyki działającymi na materię tworzącą mózg i ciało? Na te pytania Kartezjusz odpowiedział zdecydowanym „nie". Jego zdaniem oczywista różnica między materią a umysłem odzwierciedla głęboki podział. We Wszechświecie istnieje sfera fizyczna. We Wszechświecie istnieje także sfera umysłu. Sfera fizyczna może wpływać na sferę umysłu, a sfera umysłu może wpływać na sferę fizyczną, ale te dwa rodzaje sfer są różne. Wyrażając to współczesnym językiem, powiemy, że atomy i cząsteczki nie są częścią tej sfery, do której należą myśli.

Postawa Kartezjusza jest kusząca. Mogę zaświadczyć, że stoły i krzesła, koty i psy, trawa i drzewa różnią się od myśli w mojej głowie, i podejrzewam, że wy macie podobną opinię. Dlaczego cząstki, które stanowią namacalne elementy rzeczywistości zewnętrznej, i prawa fizyczne, które nimi rządzą, miałyby mieć jakiekolwiek znaczenie dla wyjaśnienia mojego wewnętrznego świata świadomych doznań? Zatem może powinniśmy oczekiwać, że zrozumienie świadomości nie będzie tylko historią wyższego poziomu, nie będzie historią, która przesuwa swe spojrzenie z zewnątrz do wewnątrz, ale będzie zupełnie innym rodzajem historii, taką, która wymaga konceptualnej rewolucji porównywalnej z tą, która stworzyła fizyką kwantową i teorię względności.

Jestem zwolennikiem rewolucji intelektualnej. Nie ma nic bardziej ekscytującego niż odkrycie, które stawia przyjęty dotąd światopogląd na głowie. I w dalszej części omówimy takie przewroty, które według pewnych badaczy świadomości będą prowadzić nas w tym kierunku. Jednak z powodów, które staną się jasne, podejrzewam, że

świadomość jest mniej tajemnicza, niż się wydaje. Zgodnie z moim stwierdzeniem w telewizyjnym talk-show i – co ważniejsze – w zgodzie z częścią badaczy, którzy poświęcili swoje życie zawodowe tym zagadnieniom, przewiduję, że pewnego dnia wyjaśnimy ją w ramach konwencjonalnej wiedzy o cząstkach tworzących materię i prawach fizycznych, które nimi rządzą. To stworzy swoistą odmianę rewolucji, ustanowienie niemal nieograniczonej hegemonii praw fizycznych, sięgających dowolnie daleko w zewnętrzny świat obiektywnej rzeczywistości i dowolnie głęboko w wewnętrzny świat subiektywnego doznawania.

W cieniach

Nie wszystkie funkcje mózgu wzbudzają taki szacunek, jakim darzona jest świadomość. Część aktywności neurologicznej kryje się pod powierzchnią stanu świadomego postrzegania. Gdy oglądasz zachód słońca, twój mózg szybko przetwarza dane przenoszone przez tryliony fotonów padających co sekundę na fotoreceptory w siatkówce, starannie interpoluje obraz, aby uwzględnić martwe punkty (gdzie w każdym oku twój nerw wzrokowy łączy się z siatkówką, przewodząc dane do ciała kolankowatego bocznego i do kory wzrokowej), ustawicznie kompensuje ruch gałek ocznych i ruch głowy, koryguje fotony zablokowane lub rozproszone przez wady wzroku, odwraca każdy obraz i łączy części każdego obrazu wspólne dla obu oczu i tak dalej, a jednak gdy spokojnie podziwiasz ostatnie promienie zachodzącego słońca, jesteś zupełnie nieświadomy wszystkiego, co dzieje się w głębi za twoimi oczami. Podobnie można opisać to, co się dzieje, gdy czytasz te słowa. Architektura świadomości pozwala ci na skupienie się na koncepcjach, które symbolizują czytane słowa, i na przekazanie masywnego przetwarzania danych wzrokowych i językowych funkcjom mózgu, które działają niezauważenie. A to, co wykonujesz codziennie, chodzisz, mówisz, twoje serce bije, krew płynie, żołądek trawi, mięśnie pracują i tak dalej, zachodzi bez potrzeby twego świadomego zaangażowania.

To, że mózg jest pełen ważnych procesów wymykających się introspekcji, jest przesłanką, która ma długą historię i bywa wyrażana na niezliczenie wiele sposobów. Teksty wedyjskie napisane trzy tysiące lat temu przywołują pojęcie podświadomości, a odniesienia do niej ciągną się przez wieki, ponieważ przenikliwi myśliciele wiedzieli o istnieniu cech umysłu niedostępnych dla stanu świadomego postrzegania. U świętego Augustyna czytamy („Jestże więc duch zbyt ciasny, by mógł samego siebie objąć w pełni? Gdzie zostaje ta jego część, której on nie obejmuje?”)[93], u świętego Tomasza z Akwinu („Umysł nie widzi siebie przez swoją istotę”[94]), u Williama Szekspira („Uderz się w piersi, zgłąb się sam w sobie. Spytaj się serca, czy w nim nie ma śladu grzechu”)[95], a u Gottfrieda Leibniza („Muzyka to przyjemność, jakiej dusza ludzka doświadcza dzięki liczeniu, nie zdając sobie sprawy, że ma do czynienia z liczeniem”)[96]. Intrygujące są również procesy, które *zdają się* niezauważane, a jednak wywołują echa dostępne dla świadomego przetwarzania. Istnieje na przykład wiele opowieści o tym, jak umysł niebędący w stanie świadomego czuwania dostarcza mimowolnych rozwiązań. Jedna z najbardziej barwnych pochodzi od niemieckiego farmakologa Otto Loewiego, który w noc poprzedzającą Niedzielę Wielkanocną 1921 roku obudził się na krótko i spisał pomysł, jaki właśnie przyszedł mu do głowy we śnie. Rano Loewi miał przytłaczające poczucie, że zapisana nocą notatka zawiera w sobie istotne spostrzeżenie, ale bez względu na to, jak bardzo się starał, nie był w stanie jej zrozumieć. Następnej nocy miał ten sam sen, ale tym razem natychmiast udał się do laboratorium i zgodnie z wytycznymi ze snu przeprowadził eksperyment sprawdzający jego długoletnią hipotezę, że to procesy chemiczne, a nie elektryczne, są najważniejsze dla komunikacji pomiędzy komórkami. Eksperyment zainspirowany marzeniami sennymi został wykonany do poniedziałku, a jego sukces ostatecznie doprowadził do przyznania Loewiemu Nagrody Nobla[97].

Istnieje powszechna tendencja do łączenia ukrytego działania - mózgu z Sigmundem Freudem oraz ukrytymi, stłumionymi wspomnieniami, pragnieniami, konfliktami, fobiami i kompleksami, które według niego nieustannie wpływają na ludzkie zachowania

(mimo że już wiele lat przed Freudem badano związane z tym zagadnienia[98]). Ważną różnicą we współczesnych czasach jest to, że spekulacje i intuicyjne przeczucia dotyczące umysłu można teraz skonfrontować z danymi, które wcześniej były niedostępne. Naukowcy opracowali sprytny sposób śledzenia aktywności mózgu rozgrywającej się poniżej stanu świadomego postrzegania.

Niektóre z najbardziej efektownych badań dotyczą pacjentów, u których występuje pewien stopień dysfunkcji neurologicznej. Pod koniec lat osiemdziesiątych Peter Halligan i John Marshall udokumentowali przypadek pacjentki P.S., która doznała uszkodzenia prawej półkuli mózgu[99]. Zgodnie z przewidywaniami w konsekwencji upośledzenia tego typu P.S. nie powinna zauważać szczegółów skrajnej lewej strony każdego obrazu, który zostanie jej pokazany. Pacjentka twierdziła na przykład, że dwa ciemnozielone rysunki budynków są identyczne, mimo że lewa strona budynku na jednym z rysunków stała w czerwonych płomieniach ognia. Jednak na pytanie, który z tych dwóch budynków chciałaby nazwać domem, P.S. konsekwentnie wybierała ten, który nie płonął. Badacze dowodzili, że choć P.S. nie mogła świadomie postrzegać obecności płomieni, to jednak informacje te docierały do niej ukradkiem i wpływały na jej decyzję.

Na zdrowe mózgi również można wpływać w sposób ukryty. Psychologowie ustalili, że nawet jeśli zwracasz szczególną uwagę, to obraz wyświetlany na ekranie krócej niż około czterdziestu milisekund (i umieszczony pomiędzy obrazami wyświetlanymi nieco dłużej zwanymi maskami) nie uzyska dostępu do twej świadomości. Niemniej jednak taki podprogowy obraz może wpłynąć na świadome decyzje. Słynne twierdzenie o niewielkim wzroście konsumpcji napojów bezalkoholowych spowodowanym włączeniem podprogowych klatek w reklamie Drink Coke jest mitem propagowanym pod koniec lat pięćdziesiątych przez zmagającego się z problemami specjalistę od badania rynku[100]. Mimo to badania laboratoryjne dostarczyły przekonujących dowodów na istnienie określonych typów niejawnych procesów umysłowych[101]. Na przykład wyobraź sobie, że stoisz przed ekranem, na którym migają liczby od 1 do 9, a twoim zadaniem jest szybka odpowiedź, czy

pokazywana cyfra jest większa, czy mniejsza od 5. Twoje czasy reakcji będą krótkie, gdy dana liczba jest poprzedzona podprogowym obrazem liczby tej samej klasy co ona (na przykład gdy liczbę 4 poprzedza podprogowy obraz liczby 3). I odwrotnie, twoje czasy reakcji będą dłuższe, gdy dana liczba będzie poprzedzona podprogowym obrazem liczby należącej do przeciwnej klasy (na przykład gdy 4 jest poprzedzona podprogowym obrazem 7)[102]. Mimo że nie jesteśmy świadomi tych ulotnych liczbowych epizodów, to jednak śmignęły one przez nasz mózg i wpłynęły na odpowiedź.

Okazuje się, że mózg to cudo, które ukradkiem nadzoruje eksplorację i analizę dopływających doń informacji. Ta jego aktywność jest niezwykła, choć nie stanowi konceptualnej tajemnicy. Mózg w szybkim tempie wysyła i odbiera sygnały z włókien nerwowych, aby kontrolować procesy biologiczne i wywoływać reakcje behawioralne. W celu precyzyjnego wyznaczenia połączeń neuronowych i fizjologicznych szczegółów leżących u podstaw takich funkcji i zachowań naukowcy stają przed trudnym zadaniem tworzenia map rozległych obszarów ze złożonymi obwodami biologicznymi o takim poziomie precyzji, który znacznie przekracza to, co do tej pory udało się osiągnąć. Jednak wszystko, czego się uczymy, wskazuje, że bez względu na to, jak trudne jest to zadanie, jak wiele kreatywności i pracowitości wymaga, to znane nam strategie nauki odniosą sukces.

I to by było na tyle, gdyby nie jedna uprzykrzona cecha umysłu. Kiedy jednak wyjdziemy poza zadania mózgu i zamiast tego będziemy rozważać doznania – wewnętrzne przeżycia, które identyfikujemy jako istotę człowieczeństwa – niektórzy badacze doszli do innych mniej optymistycznych prognoz zdolności tradycyjnej nauki do wyjaśnienia tych kwestii. A to prowadzi nas do czegoś, co niektórzy nazywają „trudnym problemem” świadomości.

Trudny problem

W liście do Henry’ego Oldenburga, jednego z najbardziej płodnych korespondentów w czasach kształtowania się współczesnej nauki,

Isaac Newton zauważył: „Nie jest takie łatwe ustalenie w sposób bardziej kompletny, czym jest Światło (...) i jakimi trybami lub działaniami wytwarza ono w naszych umysłach Fantazmaty Kolorów. I nie będę łączył domysłów z rzeczami pewnymi”[103]. Newton starał się wyjaśnić najpowszechniejsze z doznań: zlokalizowane wewnątrz nas wrażenie tego lub innego koloru. Weźmy na przykład banana. Oczywiście to nic wielkiego popatrzeć i stwierdzić, że jest żółty. Jeśli masz odpowiednią aplikację, zrobić to może twój telefon. Jednak o ile wiemy, kiedy twój telefon informuje, że banan jest żółty, nie ma wewnętrznego zmysłu odczuwania koloru żółtego. Nie ma on wewnętrznego poczucia żółci. Nie ma wewnętrznego zmysłu odczuwania koloru żółtego. Ty masz. Ja też. Tak jak Newton. Jego dylematem było zrozumienie, jak tego dokonujemy.

Ten dylemat jest istotny w znacznie szerszym znaczeniu niż mentalne „fantazmaty” koloru żółtego, niebieskiego czy zielonego. Kiedy piszę te słowa, podjadając popcorn, gdy muzyka łagodnie gra w tle, odczuwam sporo wewnętrznych doznań: nacisk na palce, słony posmak, wspaniałe głosy zespołu Pentatonix, monolog wewnętrzny ustalający kolejne wyrażenie w tym zdaniu. Wasz wewnętrzny świat przyjmuje te słowa, być może słuchając je wypowiadane przez wewnętrzny głos, a może przy tym jest dekoncentrowany tym ostatnim kawałkiem ciasta czekoladowego w lodówce. Chodzi o to, że nasze umysły goszczą wiele wewnętrznych doznań – myśli, emocji, wspomnień, obrazów, pragnień, dźwięków, zapachów i wielu innych – wszystko to jest częścią tego, co rozumiemy przez świadomość[104]. Podobnie jak w przypadku Newtona i banana, wyzwanie polega na określeniu, w jaki sposób nasz mózg tworzy i podtrzymuje te ekscytujące światy subiektywnych doznań.

Aby pojąć w pełni tę zagadkę, wyobraź sobie, że jesteś obdarzony nadludzką zdolnością widzenia, która pozwala ci zajrzeć do mojego mózgu i zobaczyć każdą z jego około tysiąca bilionów bilionów cząstek – elektronów, protonów i neutronów – zderzających się i przepychających, przyciągających i odpychających, płynących i się rozpraszających[105]. W przeciwieństwie do dużych zbiorów cząstek dryfujących w cieście, z którego piecze się chleb, lub w obłoku,

w którym skupiają się one w gwiazdę, cząstki tworzące mózg poukładane są według wysoce zorganizowanego wzorca. Mimo to skup się na jednej z takich cząstek, a przekonasz się, że oddziałuje ona z innymi za pośrednictwem tych samych sił opisanych przez tę samą matematykę, niezależnie od tego, czy ta cząstka znajduje się w twojej kuchni, w koronie Gwiazdy Polarnej, czy wewnątrz mojej kory przedczołowej. I w tym matematycznym opisie, potwierdzonym przez dane pochodzące z dziesięcioleci badań w zderzaczach cząstek i obserwacji prowadzonych za pomocą potężnych teleskopów, nie ma nic, co by nawet wskazywało na wewnętrzne doznania, które cząstki te mogłyby w jakiś sposób tworzyć. Jak zbiór bezmyślnych, pozbawionych emocji cząstek może łączyć się w całość i budować wewnętrzne odczucia koloru lub dźwięku, radości lub zdumienia, zmieszania lub zaskoczenia? Cząstki mogą mieć masę, ładunek elektryczny i kilka innych podobnych własności (ładunki jądrowe, które są bardziej egzotycznymi wersjami ładunków elektrycznych), ale wszystkie te cechy wydają się całkowicie oderwane od wszystkiego, co mogłoby przypominać subiektywne doznania. Jak więc wir cząstek wewnątrz głowy – czyli wszystko to, czym mózg jest – wytwarza wrażenia, doznania i uczucia?

Filozof Thomas Nagel przedstawił kultowe i szczególnie sugestywne wyjaśnienie tej przepaści eksplanacyjnej[106]. Zapytał: Jak to jest być nietoperzem? Wyobraź to sobie: Unosząc się wysoko nad ciemnym krajobrazem na poduszce powietrznej, nieustannie wydajesz odgłosy przypominające kliknięcia, które odbijając się od drzew, skał i owadów, umożliwiają ci stworzenie mapy środowiska. Z odbitego dźwięku lokalizujesz przed sobą komara uciekającego w prawo, wkraczasz więc do akcji i delektujesz się maleńkim kąskiem. Ponieważ nasz sposób działania w tym świecie jest zupełnie inny, tylko tak możemy sobie wyobrazić wewnętrzny świata nietoperza. Nawet gdybyśmy mieli kompletny opis wszystkich podstawowych zasad fizyki, chemii i biologii, które sprawiają, że nietoperz jest nietoperzem, nasz opis nadal nie byłby zdolny do oddania subiektywnych doznań nietoperza. Bez względu na to, jak dogłębnie rozumiemy materię, wewnętrzny świat nietoperza wydaje się poza naszym zasięgiem.

To, co jest prawdziwe dla nietoperza, jest prawdziwe dla każdego z nas. Jesteś rojem oddziałujących cząstek. Ja też. I chociaż rozumiem, jak wasze cząsteczki mogą doprowadzić do tego, że widzicie kolor żółty – cząstki w aparacie głosowym, ustach i wargach potrzebują tylko skorelowania swoich ruchów, aby to uzewnętrznić – dużo trudniej jest mi pojąć, jak te cząstki tworzą wasze subiektywne wewnętrzne doznanie koloru żółtego. Podczas gdy rozumiem, jak wasze cząstki mogą wywołać uśmiech lub zmarszczki – i znów po prostu potrzebują one odpowiedniej korelacji swoich ruchów – to nie jestem w stanie zrozumieć, w jaki sposób tworzą wewnętrzne uczucie szczęścia lub smutku. Rzeczywiście, chociaż mam bezpośredni dostęp do mojego własnego wewnętrznego świata, nie rozumiem, jak ten świat wyłania się z ruchu i oddziaływania moich własnych cząstek.

Oczywiście miałbym również trudności z wyjaśnianiem wielu innych spraw w sposób równie redukcjonistyczny, od tajfunów na Pacyfiku po szalejące wulkany. Jednak wyzwanie, jakie stawiają te zdarzenia i podobne przykłady, których świat jest pełen, polega wyłącznie na opisaniu złożonej dynamiki fantastycznie wielkiej liczby cząstek. Gdybyśmy mogli pokonać tę techniczną przeszkodę, to już byśmy mieli to z głowy[107]. A to dlatego, że nie ma czegoś takiego jak wewnętrzne poczucie, „jak to jest być" tajfunem czy wulkanem. O ile nam wiadomo, tajfuny i wulkany nie mają subiektywnych światów wewnętrznych doznań. Nie brakuje nam relacji w pierwszej osobie. Gdy zaś chodzi o wszystko, co świadome, właśnie tego brak w obiektywnym opisie osoby trzeciej.

W 1994 roku David Chalmers, młody australijski filozof z włosami spływającymi na ramiona, wystąpił na poświęconej temu zagadnieniu dorocznej konferencji w Tucson i określił ów brak jako „trudny problem" świadomości. Nie chodzi o to, że „łatwy" problem – czyli zrozumienie mechaniki procesów zachodzących w mózgu i ich roli w tworzeniu wspomnień, reagowaniu na bodźce i kształtowaniu zachowań – jest łatwy. Chodzi o to, że w przypadku takich problemów możemy sobie wyobrazić, jak zasadniczo wyglądałoby ich rozwiązanie; jak opisać podejście, które wydaje się spójne, na poziomie cząstek lub bardziej złożonych struktur, takich jak komórki

i nerwy. Wyzwanie, jakim jest wyobrażenie sobie takiego rozwiązania w odniesieniu do świadomości, było motywacją dla oceny przedstawionej przez Chalmersa. Twierdził on, że nie tylko brakuje nam pomostu łączącego bezmyślne cząstki ze świadomym doznaniem, ale też jeśli spróbujemy zbudować go w myśl redukcjonistycznego planu, wykorzystując cząstki i prawa, które stanowią ten fundament nauki, jaki znamy – poniesiemy porażkę.

Ta opinia wybrzmiała jak akord, który od tego czasu odbija się echem w badaniach nad świadomością – dla jednych jest to konsonans, dla innych dysonans.

Trochę o Marii

Łatwo niepoważnie potraktować trudny problem. W przeszłości moje własne stanowisko mogło się takie wydawać. Gdy byłem pytany, często odpowiadałem, że świadome doznanie jest tylko tym, co się czuje, gdy w mózgu dochodzi do pewnego rodzaju przetwarzania informacji. A ponieważ podstawową kwestią jest wyjaśnienie „jakie to uczucie", zbyt szybko lekceważymy trudny problem, uznając go za nietrudny, a nawet niebędący w ogóle problemem. Bardziej delikatnie ujmując, powiedziałbym, że to opowiedzenie się za szeroko rozpowszechnionym poglądem, iż zbyt wiele jest tu zmyślone. Podczas gdy niektórzy miłośnicy trudnego problemu twierdzą, że aby zrozumieć świadomość, będziemy musieli wprowadzić pojęcia spoza konwencjonalnej nauki, inni – tak zwani *fizykaliści* – oczekują, że tradycyjne metody naukowe, odwołujące się wyłącznie do fizycznych własności materii, stosowane mądrze i kreatywnie, sprostają temu zadaniu. Mój własny, długoletni pogląd na to zagadnienie rzeczywiście jest zgodny z zasadami fizykalizmu.

Jednak przez lata, gdy dokładniej zastanawiałem się nad kwestią świadomości, zaczęły męczyć mnie poważne wątpliwości. Najbardziej zdumiał mnie argument, który filozof Frank Jackson wysunął dziesięć lat przed tym, jak trudny problem został tak właśnie nazwany[108]. Jackson opowiada prostą historię, która, lekko udramatyzowana, jest następująca. Wyobraźmy sobie, że w dalekiej przyszłości żyje

genialna dziewczyna, Maria, która jest głęboko upośledzona i nie rozróżnia kolorów. Od urodzenia wszystko w jej świecie pojawia się wyłącznie w czerni i bieli. Jej stan zaskakuje najsłynniejszych lekarzy, Maria więc postanawia, że sama upora się ze swym kalectwem. Kierując się marzeniem o uzdrowieniu, latami intensywnie studiuje, dokonuje obserwacji i eksperymentuje. I dzięki temu staje się najznakomitszym neurobiologiem, jakiego znał świat, osiągając cel, który od dawna wymykał się ludzkości: odkrywa aż do ostatniego szczegółu strukturę, fizjologię, chemię, biologię i fizykę mózgu. Odkrywa absolutnie wszystko, co można wiedzieć o pracy mózgu, zarówno o jego globalnej organizacji, jak i procesach mikrofizycznych. Rozumie wszystkie sygnały przepływające przez neurony i kaskady pędzących cząstek, gdy podziwiamy głęboki błękit nieba, jemy soczystą śliwkę albo zagłębiamy się w dźwiękach *Trzeciej Symfonii* Brahmsa.

Dzięki takim osiągnięciom Maria jest w stanie zaplanować leczenie upośledzonego wzroku i poddaje się zabiegowi chirurgicznemu. Miesiące później lekarze zdejmują bandaże, a Maria przygotowuje się na przyjęcie świata od nowa. Stojąc przed bukietem czerwonych róż, powoli otwiera oczy. I oto jest pytanie: czy na skutek tego pierwszego doznania koloru czerwonego nauczy się czegoś nowego? Czy w końcu uzyskując wewnętrzne doznanie koloru, zrozumie coś nowego?

Odtwarzając tę historię w umyśle, każdy uzna za zupełnie oczywiste, że gdy Maria po raz pierwszy doświadczy czerwieni, będzie przytłoczona. Zaskoczona? Tak. Podekscytowana? Oczywiście. Wzruszona? Głęboko. Wydaje się ewidentne, że to pierwsze bezpośrednie doznanie koloru poszerzy jej pojęcie o ludzkim doznaniu i wewnętrznej reakcji, którą może ono kreować. Na podstawie tej intuicyjnie zakładanej reakcji Jackson zachęca nas do rozważenia jej implikacji. Maria opanowała wszystko, co trzeba wiedzieć o fizycznych zasadach funkcjonowania mózgu. A jednak dzięki temu jednemu doznaniu najwyraźniej poszerzyła tę wiedzę. Zdobyła wiedzę na temat świadomego doznania towarzyszącego reakcji mózgu na kolor czerwony. Wniosek? *Pełna wiedza o fizycznych zasadach działania mózgu nie obejmuje wszystkiego, co*

mózgu dotyczy. Nie ujawnia ona ani nie wyjaśnia subiektywnych doznań. Gdyby taka wiedza o fizyce mózgu obejmowała wszystko, co go dotyczy, Maria zdejmowałaby bandaże bez żadnych emocji.

Kiedy po raz pierwszy przeczytałem tę opowiastkę, poczułem więź z Marią, jakbym ja również przeszedł taką operację, która otwiera okno na naturę świadomości. Moja arogancka pewność, że świadomością *są* procesy fizyczne zachodzące w mózgu, że świadomość *to* odczuwanie tych procesów, została nagle zachwiana. Maria wiedziała wszystko o procesach fizycznych zachodzących w mózgu, a jednak z tej opowieści wynika, że taka wiedza jest niepełna. To sugeruje, że jeśli chodzi o świadome doznanie, procesy fizyczne są częścią tej historii, ale nie wszystkim. Kiedy po raz pierwszy pojawił się artykuł Jacksona, długo, zanim się o nim dowiedziałem, eksperci też byli nim bardzo zainteresowani, a kilkadziesiąt lat później opowieść o Marii dalej wywołuje wiele reakcji.

Filozof Daniel Dennett sugeruje, abyśmy głębiej rozważyli implikacje kompletnej wiedzy Marii o fizyce mózgu. Jego punkt widzenia zakłada, że koncepcja pełnego fizycznego zrozumienia jest nam tak obca, iż rażąco nie doceniamy jej mocy wyjaśniającej, jaką może nam zaoferować. Dzięki tak całościowo ujętemu pojmowaniu fizyki, od zjawiska światła poprzez biochemię widzenia aż po neurobiologię mózgu, Maria *mogłaby* rozpoznać wewnętrzne odczucie czerwieni długo przedtem, zanim go doświadczy[109]. Podczas zdejmowania bandaży Maria może być wzruszona pięknem czerwonych róż, ale zobaczenie ich czerwieni po prostu potwierdzi jej oczekiwania. Filozofowie David Lewis[110] i Laurence Nemirow[111] podchodzą do tego inaczej, argumentując, że Maria uzyskuje nowe umiejętności – rozpoznawanie, zapamiętywanie i wyobrażanie sobie wewnętrznego doznania koloru czerwonego – ale nie jest to nowym faktem, który wykracza poza jej uprzednią wiedzę. Po zdjęciu bandaży Maria może nie wzruszyć ramionami, ale wykrzyknąć „ojej!” z zachwytu nad nowym sposobem pojmowania starej wiedzy. Teraz nawet sam Jackson podnosi argumenty przeciw swojemu pierwotnemu wnioskowi, zmieniając nastawienie po latach rozmyślań nad historią Marii. Jesteśmy tak przyzwyczajeni do poznawania

świata przez bezpośrednie doświadczenie, na przykład nabywanie wiedzy, jak to jest odczuwać kolor czerwony dzięki jego widzeniu, że milcząco zakładamy, iż doświadczenia te stanowią jedyny sposób na zdobycie takiej wiedzy. Według Jacksona jest to nieuzasadnione. Chociaż proces uczenia się Marii mógłby być zupełnie obcy dla zwykłych ludzi, bo polega na dedukcyjnym rozumowaniu, podczas gdy oni opierają się na bezpośrednim doświadczeniu, jej całościowa wiedza fizyczna pozwoliłaby jej ustalić, jak to jest widzieć kolor czerwony[112].

Kto ma rację? Jackson z jego pierwotnym punktem widzenia i zwolennicy tego poglądu? A może późniejszy Jackson i wszyscy ci, którzy są przekonani, że po zobaczeniu róż Maria nie nauczy się niczego nowego?

Stawka jest wysoka. Jeśli świadomość można wytłumaczyć siłami fizyki działającymi na materialne składniki świata, naszym zadaniem będzie ustalenie, jak to się dzieje. Jeśli nie, nasze zadanie będzie daleko bardziej ogólne. Zrozumienie świadomości będzie wymagać wprowadzenia nowych pojęć i procesów i będzie to podróż, która prawie na pewno wywiedzie nas daleko poza obecne granice nauki.

Z historycznego punktu widzenia z pewnością nawigowaliśmy po lekko wzburzonych wodach ludzkiej intuicji, rozpoznając możliwe do sprawdzenia konsekwencje sprzecznych punktów widzenia. Do tej pory nikt nie zaproponował eksperymentu, obserwacji ani obliczeń, które mogłyby ostatecznie rozstrzygnąć zagadnienie przedstawione w historii o Marii lub, co jest jeszcze bardziej ambitne, które mogłyby ujawnić źródło wewnętrznych doznań. Jak zobaczymy, poglądy te, poddane podstawowej ocenie wiarygodności i intuicyjnej atrakcyjności, w dużym stopniu umożliwiły pojawienie się zróżnicowanych punktów widzenia.

Opowieść o dwóch opowieściach

Strategie wyjaśniania świadomości rozchodzą się wachlarzem po imponującym terenie idei. Na skrajach znajdują się stanowiska, które albo odrzucają świadomość jako będącą iluzją (*eliminacjonizm*), albo

deklarują, że jest ona jedynym przymiotem świata, który jest realny (*idealizm*). Pośrodku natykamy się na całe spektrum propozycji. Niektóre z nich mieszczą się w ramach tradycyjnej myśli naukowej, inne wykorzystują szczeliny w obecnej wiedzy naukowej, a jeszcze inne wzmacniają przymioty od dawna określające rzeczywistość na jej najbardziej podstawowym poziomie. Dwie krótkie opowieści wyjaśniają kontekst historyczny tych propozycji.

Gdybyście usłyszeli dyskusje toczące się w kręgach biologów XVIII i XIX wieku, poznalibyście *witalizm*. Była to koncepcja tycząca tego, co można nazwać „trudnym problemem" życia. Skoro podstawowe składniki świata są nieożywione, to jak zbiory takich składników mogą być żywe? Witalizm brutalnie i bezpośrednio stwierdzał, że takie zbiory nie mogą być żywe. Przynajmniej nie samodzielnie. Pogląd ten sugerował, że brakującym składnikiem jest niefizyczna iskra lub siła życiowa, która magią życia obdarza materię nieożywioną.

Gdybyście obracali się w pewnych kręgach fizyków XIX wieku, usłyszelibyście ekscytujące rozmowy o elektryczności i magnetyzmie, gdy Michael Faraday i inni zgłębili tę coraz bardziej intrygującą dziedzinę fizyki. Jeden z punktów widzenia, z którym byście się zetknęli, zakładał, że te nowe zjawiska można wyjaśnić w ramach standardowego mechanistycznego podejścia zapoczątkowanego przez Isaaca Newtona. Znalezienie sprytnego związku między ruchem płynów i ruchem miniaturowych trybików odpowiedzialnych za nowe zjawiska mogłoby być wyzwaniem, ale podstawy zrozumienia tego zjawiska są już w zasięgu ręki. Ze względu na przewidywaną adekwatność konwencjonalnego rozumowania naukowego można by było nazwać to „łatwym problemem" elektryczności i magnetyzmu.

Historia pokazała, że oczekiwania opisane w każdej z tych opowieści się nie spełniły. Z perspektywy dwóch wieków niemal mistyczna zagadka, którą życie niegdyś wyczarowało, straciła swą aurę. Chociaż nadal brakuje nam pełnego zrozumienia pochodzenia życia, istnieje niemal powszechny konsensus, że nie jest potrzebna żadna magiczna iskra. Wszystko, co jest konieczne, to cząsteczki ułożone w hierarchię struktur – atomy, cząsteczki, organelle,

komórki, tkanki i tak dalej. Dowody zdecydowanie pokazują, że istniejące ramy fizyki, chemii i biologii są w pełni wystarczające, aby wyjaśnić istotę życia. Trudny problem życia został sklasyfikowany na nowo jako łatwy.

W przypadku elektryczności i magnetyzmu dane zebrane w wyniku starannych eksperymentów wymagały od naukowców wyjścia poza rzeczywistość fizyczną opisywaną w podręcznikach z XVIII wieku. Istniejąca wiedza musiała zostać uzupełniona nowymi własnościami fizycznymi materii (ładunek elektryczny), poddanej nowym rodzajom oddziaływań (wypełniające przestrzeń pola elektryczne i magnetyczne) opisanych nowym zestawem równań (20 równań w początkowym ujęciu) opracowanym przez Jamesa Clerka Maxwella. Aczkolwiek rozwiązany, „łatwy" problem elektryczności i magnetyzmu okazał się trudny[113].

Wielu badaczy wyobraża sobie, że opowieść o witalizmie zostanie zrekapitulowana świadomością: w miarę jak będziemy coraz bardziej rozumieć funkcjonowanie mózgu, trudny problem świadomości będzie powoli się rozwiewał. Teraz tajemnicze wewnętrzne doznanie stanie się stopniowo postrzegane jako bezpośrednia konsekwencja fizjologicznej aktywności mózgu. To, czego nam brakuje, to pełna wiedza o wewnętrznym działaniu mózgu, a nie nowa odmiana jakiegoś pierwiastka, który tworzy świadomość. Pewnego dnia, zgodnie z tym fizykalistycznym punktem widzenia, ludzie będą się uśmiechać na myśl o tym, że niegdyś świadomość stanowiła tak wielką tajemnicę.

Inni wyobrażają sobie, że opowieść o elektromagnetyzmie stanowi odpowiedni model dla świadomości. Gdy twoja wiedza o świecie zostaje skonfrontowana z niezrozumiałymi faktami, naturalnie starasz się je włączyć w istniejące ramy naukowe. Jednak niektóre fakty mogą nie pasować do istniejących szablonów albo ujawniać nowe cechy rzeczywistości. Świadomość, według zwolenników tego poglądu, obfituje w fakty właśnie tego rodzaju. Jeśli ten punkt widzenia okaże się słuszny, zrozumienie subiektywnego doznania będzie wymagało istotnej rekonfiguracji intelektualnej areny, na której toczy się ta gra, z potencjalnymi głębokimi implikacjami, które mogą mieć wpływ znacznie wykraczający poza kwestie umysłu.

Jedną z takich najbardziej radykalnych propozycji przedstawił David Chalmers, czyli pan Trudny Problem we własnej osobie.

Teorie wszystkiego

Chalmers, przekonany, że stan świadomego postrzegania nie może wyłonić się z kłębowiska bezmyślnych cząstek, zachęca nas do wzięcia sobie do serca opowieści o elektromagnetyzmie. Podobnie do dziewiętnastowiecznych fizyków, którzy w ramach ówczesnej nauki dzielnie zmagali się z jałowością wyjaśnień zjawisk elektromagnetycznych, my potrzebujemy odwagi, by przyjąć do wiadomości, że aby objaśnić świadomość, musimy sięgnąć szerzej poza znane fizyczne właściwości.

Jak to zrobić? Jedną z możliwości, prostą i odważną, jest to, że poszczególne cząstki same w sobie są obdarzone wrodzonym atrybutem świadomości – nazwijmy to *protoświadomością*, aby uniknąć metaforyki uszczęśliwiających elektronów lub nawiedzonych kwarków – nie można tego opisać w kategoriach czegoś bardziej podstawowego. Oznacza to, że nasz opis rzeczywistości musi rozszerzyć się o samoistną i nieredukowalną subiektywną jakość, która została tchnięta w elementarne składniki materii. I to właśnie ta jakość materii jest od dawna pomijana, dlatego do tej pory nie udało się wyjaśnić fizycznych podstaw świadomego doznawania. Jak kłębowisko bezmyślnych cząstek może stworzyć umysł? Nie może. Aby stworzyć świadomy umysł, potrzebne jest kłębowisko świadomych cząstek. Dzięki zgromadzeniu ich protoświadomych cech duży zbiór cząstek może stworzyć znane nam świadome doznanie. Założenie jest więc takie, że cząstki są obdarzone dobrze zbadanym zbiorem własności fizycznych (masa, ładunek elektryczny, ładunki jądrowe i spin kwantowy), jak również niedostrzeganą wcześniej własnością protoświadomości. Wskrzeszając poglądy panpsychistyczne, których korzenie sięgają aż starożytnej Grecji, Chalmers rozważa zatem możliwość, że świadomość odnosi się do wszystkiego, co utworzone jest z cząstek, czyli zarówno mózgu nietoperza, jak i kija bejsbolowego.

Jeśli zastanawiasz się, czym tak naprawdę jest protoświadomość lub jak jest wszczepiona w cząstkę, taka ciekawość jest godna pochwały, ale to pytanie daleko wybiega poza to, co Chalmers lub ktokolwiek inny może wyjaśnić. Mimo to pomocne jest rozpatrzenie tych zagadnień w pewnym kontekście. Gdybyście zadawali mi podobne pytania o masę lub ładunek elektryczny, prawdopodobnie moje odpowiedzi tak samo by was nie zadowoliły. Nie wiem, co to jest masa. Nie wiem także, co to jest ładunek elektryczny. Wiem tylko, że masa wytwarza siłę grawitacji i na nią reaguje, a ładunek elektryczny wytwarza siłę elektromagnetyczną i na nią reaguje. Chociaż więc nie mogę wam powiedzieć, *czym są* te cechy cząstek, mogę wam powiedzieć, jak te własności działają. Być może rozumując w podobnym duchu, badacze nie będą w stanie określić, czym jest protoświadomość, ale uda im się stworzyć teorię tego, jak ona działa, jak tworzy świadomość i na nią reaguje. W przypadku grawitacji i elektromagnetyzmu większość naukowców obawia się, że zastąpienie naturalnej definicji działania i reakcji równa się intelektualnemu szalbierstwu. Ta obawa jest jednak łagodzona tym, że znane nam teorie matematyczne tych dwóch oddziaływań dają spektakularnie dokładne przewidywania. Być może pewnego dnia poznamy matematyczną teorię protoświadomości, która pozwoli dokonywać podobnie udanych prognoz. Na razie jednak jej nie mamy.

Jakkolwiek egzotycznie to wszystko brzmi, Chalmers argumentuje, że jego podejście mieści się w granicach nauki, odpowiednio rozumianej. Przez wieki naukowcy koncentrowali się wyłącznie na obiektywnym rozwijaniu rzeczywistości i mając to na celu, opracowywali równania, które wspaniale wyjaśniają dane doświadczalne i pochodzące z obserwacji astronomicznych. Jednak takie dane są w pełni dostępne do analizy osobom trzecim. Chalmers sugeruje, że istnieją inne dane, dane z doznań wewnętrznych, i przypuszczalnie również inne równania, w których ujęte zostają wzorce i regularności istniejące w rzeczywistości wewnętrznej. Konwencjonalna nauka wyjaśniałaby wtedy dane zewnętrzne, podczas gdy następna epoka nauki wyjaśniłaby dane wewnętrzne.

Mówiąc nieco inaczej, od wielu lat istnieje pogląd, którego autorstwo często przypisuje się fizykowi Johnowi Wheelerowi (znanemu z tego, że pierwszy użył terminu „czarne dziury"), według którego informacja jest najbardziej podstawowym ze wszystkich pojęć fizyki. Aby opisać stan świata obecnie, muszę podać informacje, które określają konfiguracje wszystkich poruszających się cząstek i zmiennych pól przenikających przestrzeń. Dla praw fizyki te informacje są danymi wejściowymi i w rezultacie stan świata w przyszłości otrzymujemy w postaci danych wyjściowych. Fizyka zgodnie z tym podejściem zajmuje się przetwarzaniem informacji.

Zgodnie z tym językiem w propozycji Chalmersa informacja ma dwa oblicza: istnieje jej obiektywna własność, dostępna dla osób trzecich – informacja, która od setek lat jest dziedziną fizyki konwencjonalnej. Istnieje również subiektywna jakość informacji, dostępna dla osoby pierwszej, której fizyka dotychczas nie uwzględniała. Pełna teoria fizyki musiałaby obejmować nie tylko informacje zewnętrzne, lecz także wewnętrzne, i potrzebowałaby praw opisujących dynamiczną ewolucję każdego z tych typów informacji. Przetwarzanie informacji wewnętrznych stanowiłoby fizyczną podstawę świadomego doznania.

Marzenie Einsteina o zunifikowanej teorii fizyki, zdolnej opisać wszystkie cząstki i siły natury w ramach jednego matematycznego formalizmu, zostało nazwane poszukiwaniem teorii wszystkiego. To pompatyczne określenie, często stosowane w mojej własnej dziedzinie teorii strun, wyjaśnia, dlaczego tak często jestem pytany o własny pogląd na świadomość. W końcu wydaje się, że pasuje ona do teorii, która może *wszystko* wyjaśnić. Jednak, jak często mówię tym, którzy pytają, zrozumienie fizyki cząstek elementarnych to jedna rzecz, a zupełnie inna – zrobienie z niej użytku w dziele zrozumienia ludzkiego umysłu. Budowanie aparatu naukowego w celu połączenia zupełnie odmiennych skal, zarówno pod względem wielkości, jak i złożoności, należy do najtrudniejszych wyzwań naukowych. Gdyby Chalmers miał rację, świadomość weszłaby do nauki na jej najbardziej podstawowym poziomie, na poziomie podstawowych równań i prostych składników. Co oznacza, że pewnego dnia możemy posiąść wiedzę, która od początku obejmuje

zewnętrzne i wewnętrzne aspekty przetwarzania informacji – obiektywne procesy fizyczne i subiektywne świadome doznania. *To* byłaby zunifikowana teoria. Nadal sprzeciwiałbym się określeniu „teoria wszystkiego” – spodziewam się, że naukowcom nadal będzie trudno przewidzieć, co zjem jutro na śniadanie – ale taka wiedza byłaby rewolucyjna.

Czy jest to właściwy kierunek? Byłbym zachwycony, gdyby tak było. Znaleźlibyśmy się na granicy zupełnie nowej rzeczywistości wartej eksploracji. Jak jednak zapewne przypuszczacie, istnieje wielki sceptycyzm co do tego, że nauka, starając się znaleźć źródło świadomości, będzie musiała podróżować do krain aż tak egzotycznych. Słynne powiedzonko Carla Sagana, że nadzwyczajne twierdzenia wymagają nadzwyczajnych dowodów, jest tu trafnym przewodnikiem. Istnieją przytłaczające dowody czegoś niezwykłego – naszych wewnętrznych doznań – ale znacznie mniej przekonujące dowody na to, że doznania te leżą poza zasięgiem konwencjonalnej nauki.

Wiedza zostałaby pogłębiona, gdybyśmy mogli określić warunki fizyczne, jakie są wymagane podczas tworzenia się subiektywnych doznań. Jest to kluczowym zadaniem teorii świadomości, którą teraz rozważymy.

Umysł integruje informacje

To, że mózg jest pofałdowanym, wilgotnym, przetwarzającym informacje zbiorem komórek, nie budzi kontrowersji. Według ustaleń na podstawie skanów mózgu i sondowania inwazyjnego różne jego części specjalizują się w przetwarzaniu określonych typów informacji – optycznych, słuchowych, węchowych, lingwistycznych i tak dalej[114]. Samo przetwarzanie informacji nie określa jednak charakterystycznych cech mózgu. Wiele układów fizycznych przetwarza informacje, od liczydła przez termostat do komputera, a z punktu widzenia Wheelera każdy układ fizyczny można uważać za procesor informacji. Co więc odróżnia typ przetwarzania informacji, który prowadzi do powstania stanu świadomego

postrzegania? To zagadnienie zainteresowało psychiatrę i neurobiologia Giulia Tononiego, do którego dołączył neurobiolog Christof Koch. Stworzyli oni podejście zwane *teorią zintegrowanej informacji*[115].

Aby zrozumieć, o co chodzi w tej teorii, wyobraź sobie, że pokazuję ci całkiem nowe czerwone ferrari. Niezależnie od tego, czy jesteś fanem samochodów sportowych, ta sytuacja stymuluje twój mózg bogactwem danych sensorycznych. Informacje wyrażające wizualne, dotykowe i zapachowe cechy samochodu, jak i bardziej abstrakcyjne skojarzenia – od wrażenia, jakie robi on na drodze, do asocjacji z luksusem i bogactwem – natychmiast splatają się w jednolite doznanie poznawcze. Jest to doznanie, którego informacyjną treść Tononi określa jako *wysoce zintegrowaną*. Nawet skupiając się tylko na kolorze samochodu, zauważ, że twoje doznanie zdecydowanie nie dotyczy jakiegoś bezbarwnego ferrari, które następnie staje się czerwone dzięki twemu umysłowi. Nie jest to również abstrakcyjne czerwone środowisko, któremu następnie twój umysł nadaje kształt ferrari. Chociaż informacje o kształcie i kolorze aktywują różne części kory wzrokowej, twoje świadome doznania kształtu i koloru ferrari są nierozłączne. Doświadczasz ich jako jedności. To, według Tononiego, jest naturalną jakością świadomości: informacje przewijające się przez świadome doznanie są ściśle ze sobą powiązane.

Drugą naturalną cechą świadomości jest to, że zasób, który jesteśmy w stanie utrzymać w swoim umyśle, jest ogromny. Mamy praktycznie nieograniczony repertuar umysłowy, od ogromnie szerokiego wyboru doznań zmysłowych i emocjonujących wyobrażeń po abstrakcyjne myślenie i planowanie oraz martwienie się i przewidywanie. Oznacza to, że kiedy twój umysł jest skoncentrowany na jednym konkretnym świadomym doznaniu, na przykład czerwonym ferrari, to zdecydowanie odróżnia się ono od ogromnej większości innych przeżyć psychicznych, jakich możesz doznać. Propozycja Tononiego nadaje tym obserwacjom charakterystyki definiujące: *świadome postrzeganie jest informacją wysoce zintegrowaną i wysoce zróżnicowaną*.

Większość informacji nie ma tej jakości. Zróbmy zdjęcie czerwonemu ferrari i zastanówmy się, co zawiera powstały plik

cyfrowy. Aby zachować prostotę, nie martwmy się o szczegóły, takie jak kompresja obrazu, i zamiast tego wyobraźmy sobie, że plik jest tablicą liczb, które kodują informacje o kolorze i jasności każdego piksela obrazu. Liczby te powstają dzięki fotodiodom, które reagują na światło odbijające się od różnych miejsc powierzchni samochodu. Jak zintegrowana jest ta informacja? Ponieważ działanie każdej fotodiody jest niezależne od innych – nie ma między nimi komunikacji ani powiązań – informacje zawarte w pliku cyfrowym są też od siebie niezależne. Można by przechowywać każdą daną każdego piksela w odrębnym pliku, a całkowita informacja pozostałaby niezmieniona. A to oznacza, że informacja w ogóle nie jest zintegrowana. Jak bardzo zróżnicowana jest informacja w pliku cyfrowym? Chociaż istnieje szeroki asortyment obrazów, jakie można przechowywać w pliku cyfrowym aparatu, zawartość informacji ograniczona jest do stałej tablicy niezależnych liczb. To wszystko. Cyfrowy plik fotograficzny nie jest przeznaczony do rozważań nad etyką kary śmierci ani do próby udowodnienia Wielkiego Twierdzenia Fermata. W tym sensie zawartość informacyjna jest skrajnie ograniczona, co oznacza, że aparat fotograficzny nie jest liderem różnicowania informacji.

A gdy mózg tworzy reprezentację mentalną, jego zawartość informacyjna szybko staje się wysoce zintegrowana i wysoce zróżnicowana, natomiast gdy aparat tworzy zdjęcie cyfrowe, informacja w nim zawarta nie nabywa żadnej z tych cech. To właśnie dlatego, jak twierdzi Tononi, doznajesz świadomie obecności ferrari, a twój cyfrowy aparat fotograficzny – nie.

Mając na celu nadanie tym rozważaniom cech ilościowych, Tononi zaproponował wzór, w którym przypisuje się wartość liczbową, zwykle oznaczaną jako ϕ, informacjom zawartym w danym układzie, z tym że większe wartości ϕ wskazują na większe zróżnicowanie i głębszą integrację – a więc, jak mówi teoria, wyższy poziom świadomego postrzegania. Podejście to przedstawia zatem kontinuum, począwszy od prostych układów, z mniejszą integracją i zróżnicowaniem informacji, które mogą doświadczać podstawowych form świadomości, przez bardziej złożone układy, takie jak ty i ja, z integracją i zróżnicowaniem wystarczającym dla uzyskania znanego

nam poziomu świadomego postrzegania, aż do jeszcze innych układów, których zdolności informacyjne – i świadome doznania – mogą przewyższyć nasze własne.

Podobnie jak w przypadku podejścia Chalmersa, teoria Tononiego ma skłonności panpsychistyczne. Nic w tej propozycji nie jest w sposób naturalny związane z konkretną strukturą fizyczną. Twoje świadome postrzeganie zachodzi w biologicznym mózgu, ale według Tononiego i jego matematyki wystarczająco wielka wartość φ, czy to przypisana synapsom neuronowym, czy to gwiazdom neutronowym, będzie oznaczać świadome postrzeganie. Dla niektórych, na przykład informatyka Scotta Aaronsona, stanowi to otwarte wrota na – jak on to określa – niszczycielski atak. Obliczenia Aaronsona pokazały, że dzięki sprytnemu połączeniu prostych bramek logicznych (najbardziej podstawowych z elektronicznych przełączników) powstała sieć może mieć wartości φ dowolnie duże – nawet na równi z ludzkim mózgiem albo i większe[116]. Zgodnie z teorią sieć przełączników powinna być świadoma. I to jest wniosek, który Aaronson w zgodzie z intuicją większości ludzi uważa za absurd. A jaka jest odpowiedź Tononiego? Ta sieć będzie *świadoma,* choćby ten wniosek mógł wydawać się dziwny.

Można by pomyśleć, że on *tak naprawdę* w to nie wierzy, ale swe niedowierzanie rozważ w całym kontekście. Jak to możliwe, że półtorakilogramowa bryła mózgu, odpowiednio podłączona do układu krwionośnego i sieci nerwów, może mieć świadome doznania? *W to* najtrudniej jest uwierzyć, chociaż do tej pory nauka tylko to odkryła. Jednak ze względu na własny świat wewnętrzny chętnie to zaakceptujesz. Natomiast gdy pokażę ci coś innego, coś, co jest pozbawione ciała oraz mózgu, i zasugeruję, że to też jest świadome, to wydaje się, że bardzo trudno będzie ci w to uwierzyć. Tak naprawdę przyjmując prawie niedorzeczną sugestię, że brejowato-szary splot neuronów ma świadomość, robisz już duży krok naprzód. Nie jest to argument wspierający propozycję Tononiego, ale wyraźnie pokazuje on, że coś, z czym jesteśmy obeznani, może wypaczyć nasze wyczucie absurdu.

Jeśli to podejście okaże się właściwe, wyjaśni, jakie cechy musi mieć układ, aby stworzyć świadome doznania. Byłby to znaczący

postęp. Wciąż jednak, w swojej obecnej formie, teoria zintegrowanej informacji pozostawiłaby nas w niepewności, dlaczego świadomość *odczuwa się* w taki, a nie inny sposób. W jaki sposób wysoce zróżnicowana i wysoce zintegrowana informacja daje wewnętrzną świadomość? Według Tononiego po prostu tak jest. Albo, tak jak on sugeruje, to pytanie może być niewłaściwe. Naszym zadaniem, z jego punktu widzenia, nie jest wyjaśnienie, w jaki sposób świadome doznanie wyłania się z wirujących cząstek, lecz raczej określenie niezbędnych warunków, aby układ mógł mieć takie doznania. I to właśnie stara się robić teoria informacji zintegrowanej. Chociaż doceniam ten punkt widzenia, moja intuicja, ukształtowana przez spektakularne sukcesy redukcjonistycznych wyjaśnień, pozostanie niezaspokojona, dopóki nie połączymy procesów fizycznych, w których udział biorą znane cząstki, z doznaniami umysłu.

Ostatnia propozycja, z którą się teraz zapoznamy, realizuje inną strategię. To w pełni fizykalne podejście i jedno z najlepiej wyjaśniających tajemnicę świadomości.

Umysł tworzy model umysłu

Teoria świadomości neurobiologa Michaela Graziano zaczyna się od paru znanych cech funkcjonowania mózgu, w które wszyscy bez trudu możemy uwierzyć[117]. Aby zdać sobie z nich sprawę, powróćmy do ferrari. Przypuśćmy, że widzisz smukłą, czerwoną sylwetkę samochodu, odczuwasz gładki, ergonomiczny kształt klamek drzwi, czujesz niepowtarzalny zapach nowego auta i tak dalej. Zgodnie z intuicją jest to dla nas bezpośrednim doznaniem zewnętrznej rzeczywistości, ale jak wiemy, od wieków tak nie jest. Współczesna nauka mówi to wprost. Czerwone światło odbijające się od powierzchni ferrari jest polem elektrycznym, które oscyluje w przybliżeniu 400 bilionów razy na sekundę prostopadle do podobnie oscylującego pola magnetycznego, a oba one poruszają się w twoim kierunku z prędkością 300 milionów metrów na sekundę. Taka jest fizyka światła czerwonego, a ono jest ono bodźcem, który

pobudza twoje oczy[118]. Zauważ, że nie ma żadnego „czerwonego” w opisie fizycznym. Czerwień pojawia się, gdy pole elektromagnetyczne dociera do oczu, łaskocze wrażliwe na światło cząsteczki w siatkówce oka i wytwarza impuls przenoszony do kory wzrokowej mózgu, która specjalizuje się w przetwarzaniu informacji wizualnych i interpretuje sygnał. Czerwień jest ludzkim wytworem, który działa głęboko w twojej głowie. A ten zapach nowego samochodu? Podobna historia. Siedzenia, dywaniki i elementy plastikowe wydzielają gaz, którego molekuły wypełniają wnętrze samochodu. Nie ma zapachu nowego samochodu, dopóki te molekuły nie wlecą do twoich nozdrzy, nie otrą się o neurony receptorów na nabłonku węchowym i nie wytworzą impulsu, który leci wzdłuż nerwu węchowego w kierunku opuszki węchowej, ona zaś przekaże przetworzony sygnał do różnych struktur neurologicznych w celu jego interpretacji. Tak jak w przypadku czerwieni, jedynym miejscem, w którym pojawia się zapach nowego samochodu, jest twój mózg.

Gdy ferrari przykuwa twoją uwagę, uruchomione zostają trybiki przetwarzania danych kognitywnych. Czerwony, pachnący, błyszczący, metaliczny, szkło, koła, silnik, moc, ruch, prędkość i tak dalej – wiele cech fizycznych zostaje wyczarowanych i są one powiązane przez mózg z wersją samochodu, którą przechowujesz w umyśle. Na razie brzmi to podobnie do zintegrowanej teorii informacji, ale teoria Graziana działa w innym kierunku. Według jej głównej tezy niezależnie od tego, jak bardzo dbasz o szczegóły, twoje reprezentacje umysłowe są zawsze znacznie uproszczone. Nawet opis samochodu jako „czerwonego” jest zgrubnym opisem wielu podobnych, ale odrębnych częstotliwości światła – wielu odcieni czerwieni – które odbijają się od różnych powierzchni samochodu: na przykład fale elektromagnetyczne mające częstotliwość 435, 172, 874, 363, 122 cykle na sekundę z powierzchni drzwi bocznych kierowcy, 447, 892, 629, 261, 106 cykli na sekundę z powierzchni maski i tak dalej[119]. Od nadmiaru takich szczegółów zacznie ci wirować w głowie. Zamiast tego „czerwony” jest mile widzianym przez umysł, chociaż schematycznym uproszczeniem. To samo dotyczy mnóstwa podobnych uproszczeń,

które umysł stale sporządza. W odniesieniu do niemal wszystkiego, co kiedykolwiek napotkasz w środowisku, schematyczna reprezentacja jest nie tylko wystarczająca, ale także udostępnia zasoby mentalne innym celom podtrzymującym życie. Już dawno temu mózgi, które zostały rozkojarzone przez kłębiące się szczegóły świata fizycznego, zostały szybko zjedzone. A te, które przeżyły, nie zajmowały się szczegółami niemającymi wpływu na przetrwanie. Zastąpmy czerwone ferrari dudniącą lawiną lub trzęsieniem ziemi, a zobaczysz, jaką wartość dla przetrwania ma szybka reprezentacja umysłowa, która ułatwia natychmiastową reakcję.

Kiedy twoja uwaga nie jest skierowana na samochody, lawiny lub trzęsienia ziemi, ale koncentruje się na zwierzętach lub ludziach, tworzysz podobnie schematyczne reprezentacje umysłowe. Poza reprezentacjami ich form fizycznych tworzysz także schematyczne reprezentacje ich umysłów. Próbujesz ocenić, co dzieje się w ich głowach – czy dane zwierzę lub człowiek jest przyjacielem, czy wrogiem, oferuje bezpieczeństwo czy przedstawia niebezpieczeństwo, szuka wspólnych okazji czy własnych korzyści. Oczywiście, aby przetrwać, należy szybko oszacować charakter naszego spotkania z innym życiem. Naukowcy nazywają tę zdolność doskonaloną od pokoleń przez dobór naturalny *teorią umysłu*[120] (intuicyjnie teoretyzujemy, że żywe istoty obdarzone są umysłami działającymi mniej więcej tak jak nasz) lub *postawą celową*[121] (przypisujemy wiedzę, przekonania, pragnienia, a stąd zamiary napotykanym zwierzętom i ludziom).

Graziano podkreśla, że rutynowo używasz tej właśnie zdolności wobec siebie: stale tworzysz schematyczne reprezentacje umysłowe stanu własnego umysłu. Jeśli patrzysz na czerwone ferrari, to tworzysz nie tylko schematyczną reprezentację samochodu, lecz także schematyczną reprezentację twojej skupionej na nim uwagi. Wszystkie cechy, które razem wiążesz w celu reprezentacji ferrari, wzmocnione są dodatkową jakością podsumowującą twoje własne skupienie uwagi: ferrari jest czerwone, gładkie i błyszczące, a twoja uwaga jest skupiona na tym, że jest ono czerwone, gładkie i błyszczące. W ten sposób kontrolujesz na bieżąco twoje potyczki ze światem.

Tak jak w przypadku reprezentacji ferrari, podczas reprezentacji uwagi innych reprezentacja własnej uwagi pomija ogromne pokłady szczegółów. Ignoruje leżące u jej podstaw wyładowania neuronów, przetwarzanie informacji i złożone wymiany sygnałów, które wytwarzają u ciebie skupienie uwagi, i zamiast tego nakreśla zarys samej uwagi, co w potocznym języku nazywamy zwykle naszą „świadomością". I to, według Graziana, leży u podstaw tego, że wydaje się, iż świadome doznanie unosi się w umyśle niezacumowane. Kiedy skłonność mózgu do uproszczonych schematycznych reprezentacji jest stosowana do niego, do jego własnej uwagi, powstający opis ignoruje procesy fizyczne odpowiedzialne za tę uwagę. Dlatego myśli i doznania wydają się eteryczne, jakby pochodziły znikąd, jakby unosiły się w naszych głowach. Gdyby wasza własna schematyczna reprezentacja waszego ciała pomijała wasze ramiona, ruch waszych rąk też wydawałby się eteryczny. I właśnie dlatego świadome doznanie wydaje się całkowicie odmienne od procesów fizycznych, jakie zachodzą w naszych składnikach cząsteczkowych i komórkach. Trudny problem wydaje się trudny do rozwiązania – świadomość jakby przewyższa swą postać fizyczną – tylko dlatego, że nasze schematyczne modele mentalne tłumią poznanie samej mechaniki mózgu, która łączy nasze myśli i doznania z ich fizycznymi podstawami.

Urok teorii fizykalistycznej, takiej jak teoria Graziana (i innych, które zostały zaproponowane i rozwinięte[122]), polega na tym, że świadomość, podobnie jak życie, zostałaby zredukowana do sprzyjającego ułożenia nieożywionych, bezmyślnych i pozbawionych emocji składników. Z pewnością istnieje rozległy krajobraz neurologiczny rozciągający się między nami a tak obiecującą krainą redukcjonistycznego pojmowania. Jednak w odróżnieniu od nieznanych lądów z wizji Chalmersa, w której badacze będą musieli wędrować po dziwnych krainach i wycinać ścieżki wśród nieznanego listowia, wyprawa fizyków najprawdopodobniej zaoferuje mniej egzotyczne niespodzianki. Wyzwaniem nie będzie badanie obcego świata, ale stworzenie mapy naszego własnego – mózgu – z niespotykanymi dotąd szczegółami. To właśnie znajomość terenu sprawi, że udana podróż będzie tak niezwykła. Świadomość po

prostu się wyłoni bez żadnej ponadnaukowej iskry, bez odwoływania się do nowych własności materii. Zwykła materia, rządząca się zwykłymi prawami, podlegająca zwykłym procesom, miałaby niezwykłą zdolność do myślenia i odczuwania.

Spotkałem wiele osób, które nie zgadzają się z tym punktem widzenia. Ludzi, którzy czują, że jakakolwiek próba podporządkowania sobie świadomości w ramach fizycznego opisu świata umniejsza naszą najcenniejszą jakość. Ludzi, którzy sugerują, że program fizykalistyczny jest niezdarnym podejściem zaślepionych materializmem uczonych i nieświadomych prawdziwych cudów świadomego doznania. Oczywiście, nikt nie wie, jak to wszystko się potoczy. Być może za 100 lub 1000 lat program fizykalistyczny będzie wyglądał naiwnie. Wątpię w to. Mimo uznania takiej możliwości ważne jest również, aby przeciwstawić się twierdzeniu, że przez określenie fizycznej podstawy świadomości ją dewaluujemy. To, że umysł może robić wszystko to, co robi, za pomocą takich samych składników i sił, które utrzymują mój kubek z kawą w całości, czyni go jeszcze bardziej niezwykłym. Bez umniejszania jej w niczym świadomość zostałaby wyjaśniona.

Świadomość i fizyka kwantowa

Przez dziesięciolecia często sugerowano, że fizyka kwantowa jest niezbędna do zrozumienia świadomości. W pewnym sensie jest to z pewnością prawda. Struktury materii, w tym mózg, są zbudowane z cząstek, których zachowanie podlega prawom mechaniki kwantowej. Mechanika kwantowa stanowi więc fizyczną podstawę wszystkiego, łącznie z umysłem. Gdy jednak świadomość napotyka świat kwantów, komentatorzy często sugerują głębsze związki. Często jest to motywowane tym, że utrzymuje się luka w pojmowaniu istoty mechaniki kwantowej, luka, która przez stulecie oparła się najznakomitszym umysłom. Pozwólcie mi to wyjaśnić.

Mechanika kwantowa jest najdokładniejszą, jaka kiedykolwiek powstała, teoretyczną podstawą opisu procesów fizycznych. Jej przewidywania nigdy nie były sprzeczne z powtarzalnymi

eksperymentami, a wyniki niektórych najbardziej szczegółowych obliczeń mechaniki kwantowej zgadzają się z danymi eksperymentalnymi z dokładnością jednej miliardowej. Jeśli nie przepadasz za danymi ilościowymi, to pewnie często puszczasz je mimo uszu. Ale nie teraz. Weź pod uwagę liczbę, o której dopiero co napisałem: *kwantowe obliczenia oparte na równaniu Schrödingera zgadzają się z eksperymentalnymi pomiarami do dziewięciu cyfr po przecinku*[123]*.* Powinien zabrzmieć dźwięk fanfar, a wszyscy się skłonić, bo jest to triumf ludzkiej myśli.

Niemniej jednak u podstaw teorii kwantów leży zagadka.

Podstawową nową cechą mechaniki kwantowej jest to, że jej przewidywania są probabilistyczne. Teoria ta może twierdzić, że jest 20 procent szans, iż elektron znajdzie się tutaj, 35 procent szans, że znajdzie się tam, a 45 procent szans, że znajdzie się jeszcze gdzie indziej. Jeżeli zmierzycie położenie elektronu w wielu identycznie przygotowanych wersjach tego samego eksperymentu, to z imponującą dokładnością stwierdzicie, że w 20 procentach waszych pomiarów elektron *znajduje się* tutaj, w 35 procentach *znajduje się* tam, a w 45 procentach *znajduje się* gdzie indziej. Dlatego właśnie mamy zaufanie do teorii kwantów.

Oparcie teorii kwantów na prawdopodobieństwie może nie wydawać się szczególnie egzotyczne. Przecież kiedy rzucamy monetą, również posługujemy się prawdopodobieństwem do opisania wyników – jest 50 procent szans, że moneta wyląduje na orle, i 50 procent szans, że wyląduje na reszce. Tu tkwi różnica, znana wielu, ale wciąż głęboko szokująca: w zwykłym klasycznym opisie po rzuceniu monetą, ale przed spojrzeniem na nią nie wiadomo, na czym ona leży, na orle czy na reszce. Natomiast w opisie kwantowym przed zbadaniem, w którym miejscu znajduje się elektron, który ma 50 procent szans bycia tutaj i 50 procent szans bycia tam, nie ma go *ani tu, ani tam*. Mechanika kwantowa stwierdza, że cząstka taka unosi się w rozmytej mieszaninie *bycia tu i tam*. A jeżeli elektron ma niezerową szansę na przebywanie w różnych miejscach, to według mechaniki kwantowej zawisłby w rozmytej mieszaninie bycia jednocześnie w każdym z tych miejsc. Jest to tak fantastycznie dziwne i tak sprzeczne z codziennym

doświadczeniem, że można by skusić się na odrzucenie tej teorii od ręki. I gdyby nie niezrównana zdolność mechaniki kwantowej do wyjaśniania danych doświadczalnych, ta reakcja byłaby zarówno powszechna, jak i uzasadniona. Jednak dane doświadczalne zmuszają nas do traktowania mechaniki kwantowej z najwyższym szacunkiem, zatem my, naukowcy, niestrudzenie pracowaliśmy nad zrozumieniem tej cechy tak bardzo sprzecznej z intuicją[124].

Problem w tym, że im więcej pracowaliśmy, tym dziwniejsze rzeczy powstawały. W równaniach kwantowych nie ma nic, co pokazywałoby, jak rzeczywistość przekształca się z rozmytej mieszaniny wielu możliwości do pojedynczego, określonego wyniku, który otrzymujemy po dokonaniu pomiaru. W istocie jeśli założymy – co wydaje się całkiem sensowne – że te same poprawne równania kwantowe opisują nie tylko elektrony (i inne cząstki), które badasz, lecz także elektrony (i inne cząstki), z których zbudowana jest twoja aparatura, i te, z których zbudowany jesteś ty sam razem ze swoim mózgiem, to zgodnie z matematyką to przekształcenie nie powinno w ogóle nastąpić. Jeśli elektron unosi się zarówno tu, jak i tam, to wasza aparatura powinna stwierdzić, że jest zarówno tu, jak i tam, a po odczytaniu na wyświetlaczu wasz mózg powinien pomyśleć, że elektron jest zarówno tu, jak i tam. To znaczy, po dokonaniu pomiaru, kwantowe rozmycie badanych cząstek powinno udzielić się waszej aparaturze, waszemu mózgowi i prawdopodobnie waszemu świadomemu postrzeganiu, powodując, że wasze myśli będą unosić się w rozmytej mieszaninie wielu wyników. A jednak po każdym pomiarze nic takiego nie zauważasz. Jesteś świadkiem jednego, konkretnego wyniku. Wyzwaniem, znanym jako *problem kwantowego pomiaru*, jest rozwiązanie zagadkowej rozbieżności między rozmytą kwantową rzeczywistością opisaną przez równania a znajomą nierozmytą rzeczywistością, której konsekwentnie doświadczacie[125].

Już w latach trzydziestych XX wieku fizycy Fritz London i Edmond Bauer[126], a kilkadziesiąt lat później laureat Nagrody Nobla Eugene Wigner[127] sugerowali, że kluczem do rozwiązania tej zagadki może stać się świadomość. Wszak zagadka staje się zagadką dopiero wtedy, gdy dostrzegasz rozbieżność między swoim świadomym

doznaniem konkretnej rzeczywistości a tym, co przewiduje matematyka mechaniki kwantowej. Wyobraźmy sobie więc, że reguły mechaniki kwantowej mają zastosowanie do całego łańcucha zdarzeń, do wszystkiego, co zachodzi z mierzonym elektronem, do tego, co się dzieje z cząstkami w urządzeniu dokonującym pomiar, aż do tego, co dzieje się z cząstkami, z których zbudowane jest urządzenie odczytujące wyniki pomiaru. A kiedy patrzysz na odczyt i dane sensoryczne wpływają do twojego mózgu, coś się zmienia: standardowe prawa kwantowe przestają obowiązywać. W zamian, w warunkach świadomego postrzegania, jakiś inny proces przejmuje kontrolę – proces wiodący do tego, że stajesz się świadomy konkretnego pojedynczego wyniku. Świadomość brałaby więc intymny udział w fizyce kwantowej, w trakcie ewolucji świata nakazując pośród wielu możliwych przyszłości eliminację wszystkich poza jedną. Eliminację z samej rzeczywistości lub przynajmniej z naszego świadomego poznania.

W tym przejawia się urok. Mechanika kwantowa jest tajemnicza. Świadomość jest tajemnicza. Jak fajnie sobie wyobrazić, że ich tajemnice są ze sobą powiązane albo że są tą samą tajemnicą, albo że każda z nich rozwiązuje tę drugą. Jednak w ciągu dziesięcioleci poświęconych fizyce kwantowej nie natknąłem się na matematyczny argument ani dane eksperymentalne, które zmieniłyby moją ocenę tego rzekomego związku: jest on niezwykle mało prawdopodobny. Eksperymenty i obserwacje potwierdzają pogląd, że kiedy na układ kwantowy oddziałuje bodziec – niezależnie, czy jest nim świadoma istota, czy bezmyślna sonda – układ ten uwalnia się od probabilistycznej mgły kwantowej i przyjmuje konkretną rzeczywistość. Interakcje – a nie świadomość – sprzyjają wyłanianiu się określonej rzeczywistości. Oczywiście, aby to lub cokolwiek innego w tej sprawie zweryfikować, muszę w tym celu użyć swojej świadomości. Nie mogę być świadomy jakiegoś rezultatu bez udziału mojego świadomego umysłu. Nie ma więc żadnego niezawodnego argumentu na korzyść tego, że świadomość nie odgrywa szczególnej kwantowej roli. Jednak nawet w najbardziej wyrafinowanych podejściach, które wyszły bardzo daleko poza powierzchowną

identyfikację dwóch pozornie odmiennych tajemnic, proponowane związki fizyki kwantowej ze świadomością są nieprzekonujące.

W miarę jak pogłębi się zrozumienie mechaniki kwantowej, pogłębi się również wiedza o mikrofizycznych procesach leżących u podstaw wszystkiego, w tym funkcjonowania ciała i mózgu. Z punktu widzenia fizykalisty świadomość jest jedną z takich funkcji, a więc pewnego dnia zostanie włączona w fizykę kwantową. Jednak, o ile nie pojawi się oszałamiająca niespodzianka, podręczniki mechaniki kwantowej z niedalekiej lub dalekiej przyszłości nie będą zawierały specjalnych wytycznych, jak używać równań, w których obecna jest świadomość. Jakkolwiek jest wspaniała, świadomość będzie rozumiana jako kolejna fizyczna jakość, która powstaje we wszechświecie kwantowym.

Wolna wola

Niewielu z nas jest dumnych z tego, że nasza trzustka produkuje chymotrypsynę, a sieć nerwów trójdzielnych umożliwia kichanie. Nie czujemy żywotnej potrzeby interesowania się naszymi autonomicznymi procesami. Kiedy jestem pytany, kim jestem, zwracam się do myśli, wrażeń i wspomnień, które mogę zobaczyć okiem mej pamięci lub odsłuchać za pomocą wewnętrznego głosu. U każdego trzustka syntetyzuje chymotrypsynę i każdy kicha, ale lubię sobie wyobrażać, że jest coś nieodłącznie głęboko mojego w tym, co myślę, co czuję, co robię. Przekonanie związane z tą intuicją jest tak powszechne, że wielu z nas nigdy nie zastanawia się nad nim po raz drugi, nie mówiąc już o pierwszym razie: Mamy wolę, która jest wolna. Jesteśmy autonomiczni. Jesteśmy panami siebie. Jesteśmy ostatecznym źródłem naszych działań. Ale czy tak jest?

Próby odpowiedzi na to pytanie zajmują więcej stron w literaturze filozoficznej niż jakiekolwiek inne zagadki. Dwa tysiące lat temu pogląd Demokryta, że wszystko składa się z atomów i pustki, był proroczym potwierdzeniem jedności natury, odrzucającym kapryśną zachciankę bogów na rzecz niezmiennych praw. Jednak bez względu na to, czy kontrola nad wszelkim ruchem leży w mocy bogów, czy

też podlega prawom fizyki, pozostaje nam pytanie, czy istnieje, o ile istnieje, możliwość naszego działania pod wpływem wolnej woli[128]. Wiek później Epikur, który odrzucił boską interwencję, lamentował nad tym, że naukowy determinizm stłumił wolną wolę. Jeśli uznamy, że bogowie mają władzę, przynajmniej istnieje szansa, że oddawana im niezłomnie cześć zostanie nam nagrodzona wolnością. Prawo naturalne zaś, odporne na wszelkie pochlebstwa, nie jest w stanie rozluźnić cugli. Aby rozwiązać ten dylemat, Epikur wyobrażał sobie, że atomy od czasu do czasu spontanicznie robią skok w bok, ignorując swój zadekretowany prawami los, i podążają ku przyszłości niedeterminowanej przez przeszłość. Choć było to z pewnością twórcze posunięcie, to jednak daleko mu do tego, by arbitralne wpisanie przypadku w prawa natury było przekonującym źródłem ludzkiej wolności. I tak w ciągu następnych stuleci problem wolnej woli nadal marszczył brwi panteonu czcigodnych myślicieli – świętego Augustyna, Tomasza z Akwinu, Thomasa Hobbesa, Gottfrieda Leibniza, Davida Hume'a, Immanuela Kanta, Johna Locke'a – i innych, których nazwiska stanowią listę zbyt długą, by ich wymienić, w tym wielu obecnie myślących o tych zagadnieniach na uniwersyteckich wydziałach filozofii całego świata.

Oto nowoczesna wersja argumentacji, która całkowicie odmiennie prezentuje wolną wolę. Wydaje się, że twoje i moje doświadczenia potwierdzają, iż wpływamy na kształtowanie się rzeczywistości przez działania, które odzwierciedlają nasze niewymuszone myśli, pragnienia i decyzje. A jednak zgodnie z podejściem fizykalistycznym ty i ja nie jesteśmy niczym innym jak konstelacjami cząstek[129], które w pełni podlegają prawom fizyki. Wybory, jakich dokonujemy, wynikają z tego, że nasze cząstki w ten czy inny sposób krążą w naszych mózgach. Nasze działania są wynikiem tego, że nasze cząstki poruszają się w ten czy inny sposób w naszych ciałach. A cały ruch cząsteczek – czy to w mózgu, czy w ciele, czy gdzie indziej – jest kontrolowany przez prawa fizyki, a zatem w całości dyktowany przez zasady matematyki. Równania określają dzisiejszy stan naszych cząstek na podstawie ich stanu wczorajszego, a my nie mamy możliwości, aby zakończyć rządy matematyki i swobodnie kształtować, formować lub zmieniać ich zgodny z prawami rozwój.

Rzeczywiście, jeśli podążymy coraz dalej wstecz zgodnie z tym łańcuchem rozumowania, Wielki Wybuch jest pierwotnym źródłem wszystkich cząstek, a ich zachowanie w historii kosmosu zostało podyktowane przez niepodlegające dyskusji i bezduszne prawa fizyki, które określają strukturę i funkcję wszystkiego, co istnieje. Nasze poczucie indywidualności i wartości oraz szacunku wywodzi się z naszej autonomii, ale w obliczu nieprzejednanych praw fizyki autonomia się wycofuje. Nie jesteśmy niczym innym niż zabawkami, miotanymi w tę i we w tę przez obojętne prawa kosmosu.

Ważnym pytaniem jest więc, czy istnieje jakiś sposób na uniknięcie tego pozornego rozpuszczania się wolnej woli w ruchu cząstek służebnych. Wielu myślicieli próbowało dać odpowiedź. Niektórzy wyrzekli się redukcjonizmu. Chociaż obszerne dane potwierdzają, że mamy głęboką wiedzę o prawach rządzących poszczególnymi cząstkami (elektronami, kwarkami, neutrinami i tak dalej), to być może kiedy 100 miliardów miliardów miliardów cząstek składa się na ludzkie ciało i mózg, to nie będą już nimi rządzić, a przynajmniej nie w sposób niepodzielny, podstawowe prawa mikroświata. I być może ten sposób rozumowania dopuszcza pojawienie się zjawisk w skali makroskopowej – w szczególności wolnej woli – do których mikroskopowe prawa by nie dopuściły.

Co prawda, nikt nigdy nie przeprowadził analizy matematycznej niezbędnej do przewidywania zgodnego z prawami fizyki ruchu cząstek tworzących człowieka. Złożoność takiej matematyki przekraczałaby znacznie obecne moce obliczeniowe. Nawet przewidywanie ruchu znacznie prostszego obiektu, jakim jest kula bilardowa, może się nie udać, ponieważ maleńkie błędy w określeniu początkowej prędkości i kierunku ruchu kuli mogą wykładniczo wzrosnąć podczas odbijania się kuli od brzegów stołu. Nie skupiam się więc teraz na przewidywaniu kolejnego waszego ruchu. Skupiam się na prawach, które rządzą waszym następnym ruchem. I nawet jeśli obliczenia przekraczają nasze obecne możliwości, nie ma żadnej matematycznej, eksperymentalnej ani obserwacyjnej wskazówki, która by sugerowała, że prawa te nie sprawują całkowitej kontroli. Nieoczekiwane i wspaniałe zjawiska mogą się z pewnością wyłonić ze skoordynowanego ruchu wielu mikroskopowych składników –

od tajfunów po tygrysy – ale wszystkie dowody wskazują, że gdybyśmy byli w stanie opracować metody matematyczne dla tak dużych grup oddziałujących cząstek, zdołalibyśmy przewidzieć ich zbiorowe zachowania. Podczas gdy zgodnie z logiką można się spodziewać, że pewnego dnia dowiemy się, iż zbiory cząstek składających się na ludzkie ciała i mózgi nie podlegają zasadom rządzącym zbiorami nieożywionymi, to taka możliwość jest całkowicie sprzeczna z tym wszystkim, co nauka dotąd odkryła o funkcjonowaniu świata.

Inni badacze postawili na mechanikę kwantową. W końcu fizyka klasyczna jest deterministyczna. Do równań Newtona, matematyki klasycznej fizyki, wstaw dokładnie wyznaczone położenia i prędkości wszystkich cząstek w dowolnym momencie, a w wyniku otrzymasz ich położenia i prędkości w dowolnym momencie w przyszłości. Wobec takiego braku dowolności, z przyszłością w pełni zdeterminowaną przez przeszłość, gdzie jest miejsce na wolną wolę? Stan twoich cząstek w chwili, gdy czytasz te słowa i zastanawiasz się nad tymi ideami, był zdeterminowany ich konfiguracją na długo przed twoimi narodzinami, a więc na pewno nie jest związany z twoją wolną wolą. W fizyce kwantowej, jak widzieliśmy, równania przewidują tylko *prawdopodobieństwo* tego, jak będzie w każdej chwili w przyszłości. Dzięki wprowadzeniu prawdopodobieństwa – szansy – mechanika kwantowa, jak się wydaje, stanowi nowoczesną i eksperymentalnie motywowaną wersję pomysłu Epikura, rozluźnienia deterministycznych więzów. Jednak nieprecyzyjny język może być zwodniczy. Matematyka mechaniki kwantowej, równanie Schrödingera, jest tak samo deterministyczna jak matematyka klasycznej fizyki newtonowskiej. Różnica polega na tym, że podczas gdy Newton jako dane początkowe bierze stan świata teraz i tworzy unikatowy stan jutrzejszego świata, mechanika kwantowa jako dane początkowe bierze stan świata teraz i tworzy unikatową tabelę prawdopodobieństw dla jutrzejszego stanu świata. Równania kwantowe dają w wyniku wiele możliwych przyszłości, ale prawdopodobieństwo każdej z nich ma solidny deterministyczny fundament matematyczny. Podobnie jak Newton, Schrödinger nie pozostawia miejsca na wolną wolę.

Jeszcze inni badacze zainteresowali się nierozwiązanym problemem pomiaru kwantowego. To w pełni zrozumiałe. Luka w wiedzy naukowej jest miejscem kuszącym do ukrycia w nim czegoś bardzo cennego, przynajmniej do czasu jej likwidacji. A ta luka, jak sobie przypominamy, jest tego rodzaju, że nadal nie ma zgody co do tego, jak świat przechodzi od podawanego przez mechanikę kwantową prawdopodobieństwa zdarzenia do ostatecznej rzeczywistości ujawniającej się w doświadczeniu. W jaki sposób z listy możliwości podawanej przez mechanikę kwantową wybierana jest jedyna przyszłość? I co szczególnie tu jest ciekawe, czy w rozwiązaniu tego problemu czai się wolna wola? Niestety, nie. Rozważmy elektron, który według mechaniki kwantowej ma 50 procent szans na bycie tutaj i 50 procent szans na bycie tam. Czy można swobodnie wybrać wynik – *tu* albo *tam* – który wyjawi obserwacja jego położenia? Nie można. Dane świadczą o tym, że wynik jest przypadkowy, a przypadkowe wyniki nie są wolnymi wyborami. Dane te potwierdzają również, że wyniki wielu takich eksperymentów podlegają statystycznej prawidłowości: w tym przykładzie połowa wyników wskaże, że elektron jest *tutaj*, a połowa wyników, że *tam*. Swobodny wybór nie jest ograniczany, nawet w sensie statystycznym, regułami matematycznymi. Jak w tym przypadku (i we wszystkich innych także) wskazują dowody, matematyka sprawuje nad tym władzę. Chociaż więc przejście od prawdopodobieństwa kwantowego do pewności doświadczalnej pozostaje zastanawiające, to oczywiste jest, że wolna wola nie jest częścią tego procesu.

Bycie wolnym wymaga, abyśmy nie byli marionetkami pociąganymi przez prawa fizyczne za sznurki. To, czy prawa te są deterministyczne (jak w fizyce klasycznej), czy probabilistyczne (jak w fizyce kwantowej), ma głębokie znaczenie dla ewolucji rzeczywistości i tego, jakie przewidywania może dawać nauka, ale dla ustalenia istnienia wolnej woli rozróżnienie jest nieistotne. Jeśli podstawowe prawa mogą nieustannie działać, nigdy nie zatrzymując się z powodu braku udziału człowieka, i być stosowane wciąż tak samo, nawet jeśli cząstki tworzą ciała i mózgi, to nie ma miejsca na wolną wolę. Rzeczywiście, jak potwierdza każdy naukowy

eksperyment i kiedykolwiek przeprowadzona obserwacja, prawa fizyki rządziły bez przerwy na długo przed tym, zanim pojawiliśmy się my, ludzie, a po naszym pojawieniu się nadal bez przerwy sprawują władzę.

Podsumowując: jesteśmy istotami fizycznymi stworzonymi z dużych zbiorów cząstek rządzonych prawami natury. Wszystko, co robimy, i wszystko, co myślimy, sprowadza się do ruchów tych cząstek. Uściśnij moją dłoń, a cząstki, które tworzą twoją dłoń, popchną w górę i w dół te, które tworzą moją. Powiedz: witaj, a cząstki tworzące twe struny głosowe wprawią w drgania cząstki powietrza w twoim gardle, uruchamiając reakcję łańcuchową zderzających się cząstek, które przez drgania cząstek powietrza przekażą drgania cząstkom tworzącym moje bębenki, które z kolei uruchomią drgania jeszcze innych cząstek w mojej głowie, i w ten sposób usłyszę to, co mówisz. Cząstki w moim mózgu, reagując na bodźce, utworzą myśl, że *jest to mocny uścisk*, i wyślą sygnały do cząstek w moim ramieniu, które spowodują, że moja ręka będzie się poruszać w parze z twoją. A ponieważ wszystkie obserwacje, eksperymenty i słuszne teorie potwierdzają, że ruch cząstek jest w pełni kontrolowany przez reguły matematyczne, nie możemy ingerować w ten zgodny z regułami ruch cząstek, podobnie jak nie możemy zmienić wartości π.

Nasze wybory *wydają się* zgodne z wolną wolą, ponieważ nie odczuwamy działania praw natury w ich najbardziej fundamentalnym wydaniu; naszymi zmysłami nie sięgamy działania praw natury w królestwie cząstek. Nasze zmysły i rozumowanie koncentrują się na zdarzeniach i działaniach zachodzących w codziennej ludzkiej skali: myślimy o przyszłości, porównujemy sposoby postępowania i rozważamy możliwości. W rezultacie kiedy nasze cząstki działają, wydaje nam się, że ich zbiorowe zachowania wyłaniają się z naszych autonomicznych wyborów. Jednak gdybyśmy mieli przywołane wcześniej nadludzkie możliwości i byli w stanie analizować codzienną rzeczywistość na poziomie jej podstawowych składników, uznalibyśmy, że nasze myśli i zachowania są złożonymi procesami przemieszczania się cząstek, które dają silne poczucie wolnej woli, ale w pełni podlegają prawom fizyki.

Na zakończenie naszej dyskusji warto dokonać przeglądu wariacji na temat wolności, która nie tylko pokrywa się z naszym rozumieniem praw fizyki, lecz także dokonuje uchwycenia cechy tak istotnej, że można ją uznać za definiującą, co to znaczy być człowiekiem.

Skały, ludzie i wolność

Wyobraź sobie, że siedzisz bezczynnie na ławce w parku, a obok ciebie leży kawałek skały. Gdy przechodzę obok, nagle dostrzegasz, że pęka ogromna gałąź drzewa i spada na mnie. Podrywasz się z ławki i z wielką siłą wypychasz nas obu ze ścieżki. Jakie jest wytłumaczenie dla twojego heroicznego, ratującego moje życie czynu? Wszystkie cząstki tworzące ciebie i wszystkie te, które tworzą skałę, podlegają tym samym prawom, ani więc ty, ani skała nie macie wolnej woli. Ty jednak podrywasz się z ławki, podczas gdy skała dalej sobie tam leży. Jak to wyjaśnimy?

To ty mnie ratujesz, a nie skała, dlatego, że twoje cząstki są tak spektakularnie uporządkowane, tak zapierająco dech w piersiach skonfigurowane, że mogą wykonywać znakomicie zaaranżowane ruchy, których nie są w stanie wykonywać cząstki tworzące skałę[130]. Gdy przechodzę obok, możesz mi pomachać albo przywitać się ze mną, albo powiedzieć mi, że rozwiązałeś równania teorii strun, albo uratować mnie przed spadającą gałęzią, albo masz miliardy jeszcze innych możliwości. Fotony odbijające się od mojej twarzy i wlatujące do twoich oczu, fale dźwiękowe wytworzone przez pękającą gałąź, które docierają do twoich uszu, efekty czuciowe wywoływane silnym wiatrem, który uderza w twoją skórę, a także mnóstwo innych bodźców zewnętrznych i wewnętrznych powodują powstawanie w całym twoim ciele kaskad cząstek, niosących sygnały, które stwarzają bogactwo doznań, myśli i zachowań, choć same w sobie są one jeszcze innymi kaskadami cząstek. Na szczęście dla mnie specyficzna kaskada cząstek powstała w odpowiedzi na bodziec pękającej gałęzi uruchamia twoje cząstki do natychmiastowego działania. Z kolei reakcje skały na bodźce są inne.

Padające fotony, fale dźwiękowe i ciśnienie oddziałujące na zmysł dotyku wyzwalają najprostsze reakcje. Cząstki skały mogą lekko zadrżeć, ich temperatura może nieznacznie wzrosnąć, a przy szczególnie silnym wietrze położenie skały może nieco ulec zmianie. To wszystko. W skale po prostu wiele się nie dzieje. To, co czyni cię wyjątkowym, to fakt, że twoja wyrafinowana wewnętrzna struktura pozwala na bogate spektrum reakcji behawioralnych.

Chodzi więc o to, że badając zagadnienie wolnej woli, można wiele się dowiedzieć dzięki rozszerzeniu zakresu badań z podążania wstecz ku pierwszej przyczynie na szersze studia nad ludzkimi reakcjami. Nasza wolność nie wynika z praw fizycznych, które są poza naszą kontrolą. Nasza wolność polega na przejawianiu zachowań – myślenia, wyobrażania sobie, obserwowania, zastanawiania się, wyjaśniania i tak dalej – które nie występują w przypadku większości innych zbiorów cząstek. Ludzka wolność nie polega na chęci wyboru. Wszystko, co do tej pory ujawniła nauka, tylko wzmocniło ten punkt widzenia, że nie istnieje obdarzona wolą ingerencja w rozwój rzeczywistości. Zamiast tego ludzka wolność polega na uwolnieniu się z ubogiego zakresu reakcji, który od dawna cechuje zachowanie świata nieożywionego.

Takie pojęcie wolności nie wymaga wolnej woli. Twój akt ratowania życia, choć należycie doceniony, powstał w wyniku działania praw fizyki i dlatego nie był wolną wolą. Ale fakt, że twoje cząstki były w stanie podjąć decyzję o swoim działaniu, poderwać się z ławki, a później poruszać się odpowiednio do podjętej decyzji, jest całkowicie zdumiewający. Cząstki tworzące skałę nie zrobią nic takiego. I to właśnie takie zdolności, przejawiające się jako niezwykły zakres myśli, uczuć i zachowań, oddają istotę bycia człowiekiem – istotę ludzkiej wolności.

Użycie przeze mnie terminu „wolny” do określenia zachowań, które zgodnie z prawami fizyki nie mogą być wyrazem wolnej woli, może wydawać się lingwistyczną techniką marketingową. Chodzi o to, jak od dawna sugeruje kompatybilistyczna szkoła filozoficzna, że gdy w grę wchodzi wolność i fizyka, to nie wszystko jest stracone; z ogromnym pożytkiem można rozważać alternatywne rodzaje wolności, które współgrają z prawami fizyki. Istnieją różne

propozycje, jak to zrobić, ale to tak, jakby te teorie przekazały ci złe wieści: „Jeśli chodzi o tradycyjne pojęcie wolnej woli, to nie odróżniasz się od skały", a gdy z oburzeniem odwracasz się na pięcie, wykrzyknęłyby: „Ale rozchmurz się! Jest jeszcze *inna* odmiana wolności, z natury satysfakcjonująca, której masz pod dostatkiem"[131]. W podejściu, które popieram, taka wolność polega na wyzwoleniu się z ograniczonego zakresu zachowań.

Osobiście pociesza mnie ta wielość rozmaitych form wolności. Siedząc tutaj, spisując swoje myśli, jestem niewzruszony tym, że na poziomie cząstek podstawowych wszystko, co myślę, i wszystko, co robię, podlega prawom fizyki, które istnieją poza moją kontrolą. Dla mnie liczy się to, że w przeciwieństwie do mojego biurka i w przeciwieństwie do mojego krzesła i kubka mój zbiór cząstek jest w stanie realizować niezwykle zróżnicowany zestaw zachowań. Rzeczywiście, moje cząstki właśnie ułożyły to zdanie i cieszę się z tego. Oczywiście, ta reakcja również nie jest niczym innym jak moją armią cząstek wykonującą swoje kwantowo mechaniczne rozkazy, ale nie umniejsza to rzeczywistości uczuć. Jestem wolny nie dlatego, że sam mogę panować nad prawami fizyki, ale dlatego, że moja wspaniała wewnętrzna organizacja wyzwoliła moje reakcje behawioralne.

Istotność, uczenie się i indywidualność

Rezygnacja z tradycyjnej koncepcji wolnej woli może nadal wymagać rezygnacji z tego, co cenimy. Czy nasze zachowania mają znaczenie, jeśli rozwój rzeczywistości, w tym tej istot rozumnych, jest określony przez prawa fizyki? Czy możemy po prostu usiąść bezczynnie i zdać się na bieg rzeczy określony prawami fizyki? Czy jest miejsce dla indywidualności? Jaką rolę mogą odegrać cenione przez nas zdolności, takie jak uczenie się i kreatywność?

Zajmijmy się na początek tym ostatnim pytaniem. A w związku z nim warto wrócić do Roomby. Czy ma ona cechę tradycyjnej wolnej woli? To nie jest podchwytliwe pytanie. Większość z nas zgodzi się, że nie. W salonie Roomba porusza się po podłodze, napotykając

ściany, nogi stołu i inne meble, wówczas jej wewnętrzna konfiguracja cząstek ulega zmianie – aktualizowane są mapy nawigacyjne i wewnętrzne instrukcje – i te zmiany modyfikują późniejsze zachowanie Roomby. Roomba *się uczy*. Gdy napotyka wyzwanie nawigacji wokół jakichś obiektów, to stosowane przez nią rozwiązania – unikaj tych schodów, okrąż nogi stołu i tak dalej – wskazują na pojawienie się zalążka kreatywności[132]. Uczenie się i kreatywność nie wymagają wolnej woli.

Nasza wewnętrzna organizacja, nasze „oprogramowanie", jest bardziej wyrafinowana niż Roomby, co ułatwia bardziej wyrafinowaną zdolność do uczenia się i kreatywność. W każdej chwili nasze cząstki mają specyficzne uporządkowanie. Nasze doznania, czy to zewnętrzny kontakt, czy też wewnętrzne rozważania, dokonują rekonfiguracji tego uporządkowania. Takie rekonfiguracje mają następnie wpływ na zachowanie naszych cząstek. To oznacza, że aktualizują one w naszym oprogramowaniu instrukcje, które później kierują naszymi myślami i działaniami. Iskra wyobraźni, niezdarny błąd, kilka mądrych słów, uścisk w geście empatii, lekceważąca uwaga, bohaterski akt – wszystko to wynika z twojej osobistej konstelacji cząstek, zmieniającej się od jednego uporządkowania do drugiego. Gdy obserwujesz reakcję otoczenia na twoje działania, twoja konstelacja cząstek zmienia się ponownie, rekonfiguruje swój wzorzec, tak aby jeszcze lepiej dostosować twoje zachowanie. Na poziomie twoich cząstek-składników to *jest* uczenie się. A gdy wynikające z tego zachowania są nowe, ta rekonfiguracja przyczynia się do kreatywności.

Rozważania te uwypuklają jeden z naszych głównych tematów: potrzebę zagnieżdżonych historii, które wyjaśniają różne, ale wzajemnie powiązane warstwy rzeczywistości. Gdybyśmy zadowalali się historią, która opisuje rozwój rzeczywistości wyłącznie na poziomie cząstek, nie mielibyśmy motywacji do wprowadzania takich pojęć jak uczenie się i kreatywność (lub w tym przypadku entropia i ewolucja). Wszystko, co musisz wiedzieć, to to, jak zbiory cząstek nieustannie zmieniają swe konfiguracje, a informacja ta jest dostarczana przez podstawowe prawa (i specyfikację stanu cząstek w jakimś momencie w przeszłości). Większości z nas nie zadowala

tego rodzaju opowieść. Większość z nas uważa, że pouczające jest opowiadanie dodatkowych historii, zgodnych z redukcjonistycznym punktem widzenia, ale zachodzących w większych i lepiej znanych nam skalach. To właśnie w tych historiach, których głównymi bohaterami są kompleksy cząstek, takie jak ty i ja oraz Roomba, niezbędny język opowieści tworzą pojęcia uczenia się i kreatywności (oraz entropii i ewolucji). Podczas gdy redukcjonistyczny opis Roomby skatalogowałby ruch miliardów miliardów cząstek, historia na wyższym poziomie mogłaby wyjaśnić, że czujniki Roomby rozpoznały, iż znajduje się ona na skraju schodów, zapisały w pamięci to niebezpieczne miejsce i odwróciły kierunek jej ruchu, aby uniknąć potencjalnie katastrofalnego upadku. Te dwie historie są w pełni kompatybilne, mimo że jedna wykorzystuje język cząstek i praw, a druga język bodźców i reakcji. A ponieważ w Roombie przez aktualizację jej wewnętrznych instrukcji można zmodyfikować przyszłe zachowania, koncepcje uczenia się i kreatywności są kluczowe dla opowieści obejmującej wyższy poziom.

Takie zagnieżdżone historie są jeszcze bardziej istotne, gdy chodzi o ciebie i mnie. Nasz redukcjonistyczny opis jako zbioru cząstek pozwala na sformułowanie ważnych, ale ograniczonych spostrzeżeń. Uznajemy na przykład, że tak jak wszystkie inne struktury jesteśmy stworzeni z tej samej materii i rządzą nami te same prawa. Natomiast historia wyższego rzędu, historia ludzka, jest tą, dzięki której żyjemy. Myślimy i rozważamy, zmagamy się i walczymy, odnosimy sukcesy i ponosimy porażki. Historie opowiedziane tym znajomym językiem muszą znów być w pełni zgodne z redukcjonistycznymi relacjami opowiadanymi za pomocą ruchu cząstek. W życiu codziennym te historie wyższego rzędu są nieporównywalnie bardziej kształcące. Kiedy jem kolację z żoną, nie jestem wcale zainteresowany wysłuchaniem relacji o ruchu jej 100 miliardów miliardów miliardów cząstek. Kiedy jednak opowiada mi o pomysłach, które realizuje, miejscach, które chce odwiedzić, i ludziach, z którymi się spotyka, cały zamieniam się w słuch.

W ramach takich relacji wyższego rządu wypowiadamy się tak, jakby nasze działania miały znaczenie, nasze wybory miały wpływ, nasze decyzje coś zmieniały. Czy w świecie, który rozwija się dzięki

niezachwianym prawom fizyki, jest to prawdą? Tak. Oczywiście, że tak. Kiedy mając dziesięć lat, zapaliłem zapałkę w piekarniku wypełnionym gazem, miało to swoje konsekwencje. Ta akcja wywołała eksplozję. Relacja na wyższym poziomie przedstawiająca serię powiązanych ze sobą zdarzeń – uczucie głodu, włożenie pizzy do piekarnika, włączenie gazu, oczekiwanie, zapalenie zapałki, ogarnięcie przez płomienie – jest wierna i wyczerpująca. Fizyka nie neguje tej historii. Fizyka nie umniejsza jej ważności. Fizyka ją tylko powiększa. Fizyka stwierdza, że istnieje jeszcze jedna relacja, będąca fundamentem historii na ludzkim poziomie, opowiedziana językiem praw i cząstek.

Co jest niezwykłe i dla pewnych osób niepokojące, to fakt, że te leżące u podstaw relacje ujawniają, iż błędne jest powszechne przekonanie towarzyszące naszym historiom z wyższego poziomu. Uważamy, że jesteśmy ostatecznymi autorami dokonanych przez nas wyborów, podjętych decyzji i działań, ale redukcjonistyczna opowieść jasno pokazuje, że tak nie jest. Ani nasze myśli, ani nasze zachowania nie mogą wyrwać się z uścisku praw fizyki. Niemniej jednak powiązane przyczynowo główne sekwencje naszych nadrzędnych opowieści – moje uczucie głodu powodujące, że wkładam pizzę do piekarnika, potem sprawdzam jej temperaturę i w końcu zapalam zapałkę – są oczywiste i prawdziwe. Myśli, reakcje i działania mają znaczenie. Powodują konsekwencje. Są ogniwami łańcucha fizycznego rozwoju rzeczywistości. W naszych doświadczeniach i intuicjach nieoczekiwane jest to, że takie myśli, reakcje i działania wyłaniają się z poprzedzających je przyczyn, ukierunkowane przez prawa fizyki.

Odpowiedzialność też ma swoją rolę. Mimo że moje cząstki, a więc i moje zachowania podlegają pełnej jurysdykcji praw fizyki, „ja” jestem w sposób bardzo dosłowny, chociaż nie zdając sobie z tego sprawy, odpowiedzialny za moje działania. W każdym momencie *jestem* moim zbiorem cząstek; „ja” jest tylko skrótem, który określa moją specyficzną konfigurację cząstek (która, choć dynamiczna, utrzymuje wystarczająco stabilne wzorce, aby zapewnić spójne poczucie własnej tożsamości[133]). W związku z tym zachowanie *moich* cząstek jest moim zachowaniem. To, że fizyka, kontrolując te cząstki,

staje się fundamentem owego zachowania, jest z pewnością interesujące. Z tym, że takie zachowanie nie jest dobrowolne, trzeba się pogodzić. Obserwacje te jednak nie pomniejszają opisu wyższego poziomu, który uznaje, że moja specyficzna konfiguracja cząstek – sposób, w jaki moje cząstki są ułożone w skomplikowaną sieć chemiczną i biologiczną obejmującą geny, białka, komórki, neurony, połączenia synaptyczne i tak dalej – reaguje w sposób jedyny w swoim rodzaju, charakterystyczny tylko dla mnie. Ty i ja mówimy inaczej, działamy inaczej, reagujemy inaczej i myślimy inaczej, ponieważ nasze cząstki są inaczej skonfigurowane. Kiedy mój układ cząstek uczy się, myśli i syntetyzuje, wchodzi w interakcje i reaguje, posiada znamię mojej indywidualności i stawia pieczęć mojej odpowiedzialności za każde moje działanie[134].

Zdolność człowieka do reagowania z wielką różnorodnością jest dowodem istnienia podstawowych zasad, którymi kierowaliśmy się w naszych dotychczasowych poszukiwaniach: dwuetapowością entropii i ewolucją przez dobór naturalny. Dwuetapowość entropii wyjaśnia, jak w świecie, który staje się coraz bardziej nieuporządkowany, mogą powstawać uporządkowane bryły, a także jak część tych brył, gwiazdy, może pozostawać stabilna przez miliardy lat, wytwarzając stałą ilość ciepła i światła. Ewolucja wyjaśnia, jak w sprzyjającym środowisku, takim jak planeta skąpana w nieustającym strumieniu ciepła gwiazdy, zbiory cząstek mogą tworzyć struktury, które umożliwiają złożone zachowania, od replikacji i naprawy przez pobór energii i metabolizm po ruch i wzrost. Zbiory, które nabywają zdolności myślenia i uczenia się, komunikowania i współpracy, wyobraźni i przewidywania, są lepiej przygotowane do przetrwania, a tym samym do tworzenia podobnych zbiorów o podobnych zdolnościach. Ewolucja wybiera więc te zdolności i z pokolenia na pokolenie je udoskonala. Z czasem niektóre zbiory dochodzą do wniosku, że ich zdolności poznawcze są tak niezwykłe, iż przekraczają prawa fizyki. Niektóre najbardziej wnikliwe zbiory są następnie zdumione konfliktem między wolną wolą, której doświadczają, a sztywną kontrolą praw fizyki, które uznają. Fakt jest taki, że nie ma żadnego konfliktu, ponieważ nie ma żadnego przekraczania praw fizyki. I nie może być. Zamiast tego

konglomeraty cząstek muszą ponownie ocenić swoje zdolności, koncentrując się nie na prawach rządzących samymi cząstkami, ale na złożonych i niezwykle bogatych zachowaniach wysokiego poziomu, w pełni indywidualnych, które może wykazywać i doświadczać każdy z tych zbiorów. Dzięki tej reorientacji konglomeraty cząstek mogą opowiedzieć kształcące historie niezwykłych zachowań i doznań, które zachodziły jakoby pod wpływem wolnej woli sprawującej nad nimi autonomicznie kontrolę, a jednocześnie podlegały prawom fizyki.

Niektórzy będą się wzdragać przed tym wnioskiem. Pewnie tak jak ja. Intelektualnie przekonuje mnie przedstawiona tutaj argumentacja, choć jednak nie zmniejsza mojego głębokiego i silnego przekonania, że swobodnie kontroluję to, co dzieje się w mojej głowie. Siła tego wrażenia spoczywa w dużej mierze na jego swojskości. Jak jednak może zaświadczyć wielu ludzi, którzy eksperymentowali z substancjami zmieniającymi umysł, gdy tożsamość cząstek krążących w mózgu jest nawet odrobinę zmodyfikowana, to ta swojskość może ulec zmianie. Równowaga mózgu może ulec zmianie. Umysł może pozornie mieć własny rozum. Kilkadziesiąt lat temu w pięknym Amsterdamie takie doświadczenie zaowocowało jedną z najbardziej przerażających nocy w moim życiu. Mój umysł stworzył wewnętrzny świat, w którym istniało nieskończenie wiele kopii mnie, a każda z determinacją podważała rzeczywistość doznawaną przez inne. Kiedy jedno z moich „ja" zostało przekonane, że doświadcza „prawdziwej" rzeczywistości, następne „ja" wykazywało sztuczność tego świata, wymazując wszystko i wszystkich, na których temu poprzedniemu „ja" zależało, i wskazywało następną „prawdziwą" rzeczywistość, którą kolejny ja pewnie zamieszkałby tylko po to, aby powtarzać tę koszmarną sekwencję. I tak bez końca.

Z punktu widzenia fizyki wprowadziłem do mojego mózgu jedynie niewielki zbiór obcych cząstek, ale ta zmiana wystarczyła do wyeliminowania swojskiego dla mnie wrażenia, że swobodnie kontroluję działania rozgrywające się w moim umyśle. Podczas gdy w mocy pozostawał model z poziomu redukcjonistycznego (cząstki podlegające prawom fizycznym), model z poziomu ludzkiego

(niezawodny umysł obdarzony wolną wolą funkcjonujący w stabilnej rzeczywistości) został wywrócony nogami do góry. Oczywiście, nie przedstawiam momentu zmieniającego umysł jako argumentu za wolną wolą lub przeciwko niej, ale to doświadczenie, które w przeciwnym razie pozostałoby abstrakcją, uczyniło w moim rozumieniu działania umysłu wielkie zmiany. Nasze poczucie tego, kim jesteśmy, nasze możliwości i swoboda woli, którą pozornie mamy, wywodzą się z cząstek poruszających się w naszych głowach. Zabawmy się z tymi cząstkami, a znane nam cechy mogą osłabnąć. To doświadczenie pomogło zestroić moje racjonalne pojmowanie fizyki z intuicyjnym wyczuciem umysłu.

Codzienne doświadczenie i codzienny język wypełniają odniesienia, ukryte i jawne, do wolnej woli. Mówimy o dokonywaniu wyborów i podejmowaniu decyzji. Mówimy o działaniach, które zależą od tych decyzji. Mówimy o konsekwencjach, jakie te działania mają w naszym życiu i życiu naszego otoczenia. Nasze rozważania na temat wolnej woli nie umniejszają tych opisów lub je eliminują. Opisy te są opowiedziane językiem odpowiednim dla historii na poziomie ludzkim. My *dokonujemy* wyborów. *Podejmujemy* decyzje i działania. I te działania mają *konsekwencje*. To wszystko jest realne, ale ponieważ historia na poziomie ludzkim musi być zgodna z opowieścią w duchu redukcjonizmu, musimy udoskonalić nasz język i założenia. Musimy odłożyć na bok przekonanie, że nasze wybory, decyzje i działania mają swoje ostateczne źródło w każdym z nas, że są wprowadzane w życie przez naszą niezależną sprawczość, że wyłaniają się one z rozważań, które nie podlegają prawom fizyki. Musimy zdać sobie sprawę, że chociaż *odczucie* wolnej woli jest realne, to zdolność do wywierania wolnej woli – zdolność ludzkiego umysłu do przekraczania praw, które kontrolują rozwój fizyczny rzeczywistości – już nie jest realna. Jeśli ponownie zinterpretujemy „wolną wolę”, by oznaczała to uczucie, wtedy nasze ludzkie historie staną się zgodne z redukcjonistycznym punktem widzenia. A wraz z przesunięciem szczególnej uwagi z pierwotnego pochodzenia na wyzwolone zachowania możemy nim objąć bezsporną, obszerną różnorodność ludzkiej wolności.

Tak jak w przypadku pochodzenia życia, nie ma ostro zaznaczonego momentu, w którym wyłania się świadomość, pojawia się autorefleksja lub ujawnia się poczucie wolnej woli. Jednak dowody archeologiczne sugerują, że już sto tysięcy lat temu, być może wcześniej, u naszych przodków pojawiły się te doznania. Od tego czasu ludzie przyjęli postawę stojącą. A teraz moglibyśmy się rozejrzeć i zastanowić.

Co zrobiliśmy, mając takie możliwości?

89 Przeł. Joanna Guze (przyp. tłum.). Albert Camus, *Mit Syzyfa i inne eseje*, przeł. J. Guze, Muza, Warszawa 2004.

90 Ambrose Bierce, *The Devil's Dictionary*, The Peter Pauper Press, Mount Vernon, NY 1958, s. 14.

91 Will Durant, *The Life of Greece*, t. 2 *The Story of Civilization*, Simon & Schuster, Nowy Jork 2011, s. 8181–8182, Kindle.

92 Ponieważ często wspominam o równaniach matematycznych wyrażających prawa fizyki, warto krótko spisać naszą najbardziej wyrafinowaną wersję tych równań. Nawet jeśli nie uchwycisz symboli, to i tak może zainteresuje cię ogólne spojrzenie na matematykę. Równania pola ogólnej teorii względności Einsteina są następujące: $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}Tg_{\mu\nu}$, lewa strona opisuje krzywiznę czasoprzestrzeni, a także stałą kosmologiczną, Λ, a prawa strona opisuje masę i energię, która jest źródłem krzywizny (źródłem pola grawitacyjnego). W tym wyrażeniu (i w następnych) greckie indeksy biegną od 0 do 3, odzwierciedlając cztery współrzędne czasoprzestrzeni. Równania Maxwella dla pola elektromagnetycznego to $\partial^\alpha F_{\mu\nu} = \mu_0 J_\beta$ i $\partial_{[\alpha}F_{\beta\gamma]} = 0$, lewa strona tych równań opisuje pola elektryczne i magnetyczne, prawa strona pierwszego równania zaś opisuje ładunki elektryczne, które są źródłem tych pól. Równania dla silnych i słabych oddziaływań jądrowych są uogólnieniami równań Maxwella. Istotną nowością jest to, że o ile w teorii Maxwella możemy napisać „natężenie pola" $F_{\alpha\beta} = \partial_\alpha A_\beta - \partial_\beta A_\alpha$ za pomocą „potencjału wektorowego" A_α, o tyle dla oddziaływań jądrowych istnieje zbiór natężeń pola $F^a_{\alpha\beta}$ oraz zbiór potencjałów wektorowych A^a_α, które są powiązane przez $F^a_{\alpha\beta} = \partial_\alpha A^a_\beta - \partial_\beta A^a_\alpha + gf^{abc}A^b_\alpha A^c_\beta$. Łacińskie indeksy biegną nad generatorami algebry Liego SU(2) dla słabego oddziaływania jądrowego i SU(3) dla silnego oddziaływania jądrowego, a f^{abc} są stałymi struktury tych

algebr. Równanie Schrödingera z mechaniki kwantowej wygląda następująco: $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi$, *H* jest hamiltonianem, a Ψ funkcją falową, której (odpowiednio znormalizowana) kwadrat wyraża prawdopodobieństwo kwantowomechaniczne. Połączenie mechaniki kwantowej z oddziaływaniami elektromagnetycznymi oraz słabymi i silnymi oddziaływaniami jądrowymi, w tym również obejmującymi znane cząstki materii i cząstką Higgsa, nastąpiło w Modelu Standardowym fizyki cząstek. Model Standardowy na ogół wyraża się w równoważnym formalizmie zwanym całkami po trajektoriach (podejście Richarda Feynmana). Łączenie mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności jest stałym tematem zaawansowanych badań.

93 Św. Augustyn, *Wyznania*, przeł. Z. Kubiak, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, Kraków 2018.

94 Św. Tomasz z Akwinu, *Kwestie dyskutowane o prawdzie*, t. 1–2, przeł. A. Aduszkiewicz i in., Antyk, Kęty 1998.

95 William Szekspir, *Miarka za miarkę*, przeł. L. Ulrich, w: tegoż, *Dzieła dramatyczne* t. 1, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1980.

96 Gottfried Leibniz, list do Christiana Goldbacha, 17 kwietnia 1712 r.

97 Otto Loewi, *An Autobiographical Sketch*, „Perspectives in Biology and Medicine" 1960, nr 4 (1), s. 3–25. Loewi niesłusznie zauważył, że śniło mu się to w Niedzielę Wielkanocną 1920 roku, choć był to rok 1921.

98 Bardziej dogłębny opis w: Henri Ellenberger, *The Discovery of the Unconscious*, Basic Books, Nowy Jork 1970.

99 Peter Halligan, John Marshall, *Blindsight and insight in visuospatial neglect*, „Nature" 1988, nr 336 (6201), s. 766–767.

100 Winowajcą był James Vicary, który w 1957 r. twierdził, że błyski podprogowe zachęcające widzów do jedzenia popcornu i picia coca-coli spowodowały znaczny wzrost ich sprzedaży. Później Vicary przyznał, że te twierdzenia były bezzasadne.

101 Naukowcy ustalili, że szeroki wachlarz bodźców podprogowych ma zdolność wpływania na świadome działania. Tu opisuję jeden z przykładów, wpływ podprogowy na proste oznaczenia liczbowe, ale podobne podprogowe wpływy zostały wykazane w rozpoznawaniu słów, zob. np. Anthony J. Marcel, *Conscious and Unconscious Perception: Experiments on Visual Masking and Word Recognition*, „Cognitive Psychology" 1983, nr 15, s. 197–237, jak również w odniesieniu do percepcji i oceny szerokiego spektrum obrazów i obiektów.

102 L. Naccache i S. Dehaene, *The Priming Method. Imaging Unconscious Repetition Priming Reveals an Abstract Representation of Number in the Parietal Lobes*, „Cerebral Cortex" 2001, nr 11 (10), s. 966–974; tychże, *Unconscious Semantic Priming Extends to Novel Unseen Stimuli*, „Cognition" 2001, nr 80 (3), s. 215–229. Zauważmy, że w tych eksperymentach początkowy bodziec jest podawany podprogowo za pomocą procedury *maskowania*, w której kształty geometryczne migają przed bodźcem i po jego prezentacji. W celu dokonania przeglądu zob. Stanislas Dehaene i Jean-Pierre Changeux, *Experimental and Theoretical Approaches to Conscious Processing*, „Neuron" 2011, nr 70 (2)., s. 200–227; Stanislas Dehaene, *Consciousness and the Brain*, Penguin Books, Nowy Jork 2014.

103 Isaac Newton, list do Henry'ego Oldenburga, 6 lutego 1671 r., http:/www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00003.

104 Filozofowie, psycholodzy, mistycy i wielu innych myślicieli przedstawiają różne definicje świadomości. W zależności od kontekstu niektóre z nich mogą być bardziej przydatne niż podejście, które tu przyjąłem, inne mniej. Skupiamy się tutaj na „trudnym problemie" i w tym celu podany opis będzie nam dobrze służył.

105 Odwołanie się do protonów, neutronów i elektronów jest opisem stanu mojego mózgu wyrażonym za pośrednictwem najbardziej podstawowych składników natury, czymkolwiek te składniki (cząstki, pola, struny, itp.) mogą się okazać.

106 Thomas Nagel, *What Is It Like to Be a Bat?*, „Philosophical Review" 1974, nr 83 (4), s. 435–450.

107 Kiedy mówię o tajfunie lub wulkanie – bądź jakimkolwiek ciele makroskopowym – jako zbiorze cząstek podstawowych, to mówię tu „o zasadzie". Jak od dawna wskazuje teoria chaosu, drobne różnice w warunkach początkowych zbioru cząstek przynieść mogą ogromne zmiany w przyszłej konfiguracji tych cząstek. Odnosi się to nawet do małych zbiorów. W praktyce fakt ten znacząco wpływa na rodzaje przewidywań, których możemy dokonać, ale nie ma w nim żadnej tajemnicy. Teoria chaosu dostarcza znaczącego zbioru spostrzeżeń, ale nie została opracowana w celu wypełnienia luki w naszym rozumieniu podstawowych praw fizyki. Jeśli jednak chodzi o świadomość, to problem poruszony w rozdziale – jak bezmyślne cząsteczki mogą odpowiadać za świadome wrażenia – zasugerował niektórym badaczom, że istnieje luka o znacznie bardziej fundamentalnym charakterze. Argumentowali oni, że doznania odczuwane przez umysł nie mogą pochodzić z dużych zbiorów cząstek, niezależnie od skoordynowanych ruchów, jakie te cząstki mogą wykonywać.

108 Frank Jackson, *Epiphenomenal Qualia*, „Philosophical Quarterly" 1982, nr 32, s. 127–136.

109 Daniel Dennett, *Świadomość*, przeł. E. Stokłosa, Copernicus Center Press, Kraków 2016.

110 David Lewis, *What Experience Teaches*, „Proceedings of the Russellian Society" 1988, nr 13, s. 29–57. Przedruk w: David Lewis, *Papers in Metaphysics and Epistemology*, Cambridge University Press, Cambridge 1999, s. 262–290, który opiera się na wcześniejszych przemyśleniach Laurence'a Nemirowa, *Review of Nagel's Mortal Questions*, „Philosophical Review" 1980, nr 89, s. 473–477.

111 Laurence Nemirow, *Physicalism and the cognitive role of acquaintance*, w: *Mind and Cognition*, red. W. Lycan, Blackwell, Oksford 1990, s. 490–499.

112 Frank Jackson, *Postscript on Qualia*, w: *Mind, Method, and Conditionals, Selected Essays*, Routledge, Londyn 1998, s. 76–79.

113 W swoim artykule z 1995 roku Chalmers omawia zarówno witalizm, jak i elektromagnetyzm jako użyteczne odniesienia dla trudnego problemu. Kluczową cechą wyróżniającą trudny problem, jak zdefiniował go Chalmers, jest to, że odnosi się on do subiektywnych cech doznania, a zatem, jak twierdzi, nie da się go rozwiązać przez uzyskanie bardziej wyrafinowanego zrozumienia obiektywnych funkcji mózgu. W tej części ujmuję problem nieco inaczej, porównując ze sobą otwarte zagadnienia, które nauka może rozwiązać, przynajmniej w zasadzie, za pomocą swojego obecnie ustalonego paradygmatu (definiującego arenę, na której, jak wiemy, rozgrywa się rzeczywistość) z otwartymi zagadnieniami, dla których paradygmat ten może okazać się nieadekwatny. W tym ujęciu problem jest trudny do rozwiązania, jeśli musimy fundamentalnie zmienić istniejący opis świata (w przykładzie elektryczności i magnetyzmu naukowcy musieli wprowadzić zasadniczo nowe jakości – wypełniające przestrzeń kosmiczną pola elektryczne, pola magnetyczne i ładunki elektryczne). W tym względzie Chalmers twierdzi, że trudnego problemu nie da się rozwiązać jedynie dzięki użyciu składników materialnych w fundamentalnym fizycznym opisie rzeczywistości; ogólne ramy, jakie wprowadzam, choć inne, ujmują zasadniczą część problemu. Zauważmy też, że według Chalmersa powodem, dla którego witalizm stopniowo zaniknął, jest fakt, że kwestia, którą wyróżniał, *była* jedną z obiektywnych funkcji: Jak składniki fizyczne mogą spełniać obiektywne funkcje życiowe? Ponieważ nauka lepiej rozumiała funkcjonalne możliwości składników fizycznych (cząsteczki biochemiczne itp.), zagadka, którą witalizm starał się rozwiązać, stała się łatwiejsza. Według Chalmersa ten postęp nie zrównoważy trudnego problemu. Fizykaliści nie podzielają tej intuicji i przewidują, że nastąpi postęp w zrozumieniu funkcji mózgu, co da z pewnością wgląd w subiektywne doznania. Więcej szczegółów można znaleźć w: David Chalmers, *Facing Up to the Problem of Consciousness*, „Journal of Consciousness Studies" 1995, nr 2 (3), s. 200–219; tegoż, *Świadomy umysł: w poszukiwaniu teorii fundamentalnej*, przeł. M. Miłkowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.

114 W literaturze klinicznej opisano niezliczone przypadki, w których wycięcie określonych struktur mózgu prowadzi do utraty jego docelowych funkcji. Jeden z takich przypadków jest mi szczególnie bliski. Po operacji usunięcia nowotworu złośliwego mózgu moja żona, Tracy, straciła tymczasowo zdolność do nazywania wielu rzeczowników pospolitych. Jak sama to opisuje, było to tak, jakby operacja usunęła bank danych, w którym przechowywana była jej wiedza na temat nazw różnych rzeczowników. Potrafiła jeszcze wyczarować mentalny obraz takich obiektów jak para czerwonych butów, ale nie umiała nazwać go w głowie.

115 Giulio Tononi, *Phi: A Voyage from the Brain to the Soul*, Pantheon, Nowy Jork 2012; Christof Koch, *Consciousness: Confessions of a Romantic Reductionist*, MIT Press, Cambridge, MA 2012; Masafumi Oizumi, Larissa Albantakis, Giulio Tononi, *From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness: Integrated Information Theory 3.0*, „PLoS Computational Biology" 2014, nr 10 (5).

116 Scott Aaronson, *Why I Am Not an Integrated Information Theorist (or, The Unconscious Expander)*", Shtetl-Optimized, https://www.scottaaronson.com/blog/?p=1799.

117 Michael Graziano, *Consciousness and the Social Brain*, Oxford University Press, Nowy Jork 2013; Taylor Webb, Michael Graziano, *The attention schema theory: A mechanistic account of subjective awareness*", „Frontiers in Psychology" 2015, nr 6, s. 500.

118 Ludzkie postrzeganie koloru jest bardziej złożone, niż sugeruje to mój krótki opis. Nasze oczy mają receptory, których wrażliwość zależy od zakresu częstotliwości światła. Niektóre z nich są najbardziej wrażliwe na najwyższe częstotliwości widzialne, inne na najniższe, a jeszcze inne na częstotliwości, które leżą między nimi. Kolory postrzegane przez mózg powstają w wyniku mieszania się reakcji różnych receptorów.

119 Podobnie jak w poprzednim przypisie jest to uproszczenie, ponieważ mózg interpretuje „czerwony" na podstawie mieszaniny reakcji na różne częstotliwości odbierane przez jego receptory wizualne. Niemniej jednak uproszczony opis przekazuje zasadniczy aspekt: nasze postrzeganie koloru jest przydatną, ale zgrubną reprezentacją danych fizycznych przenoszonych do oczu przez fale elektromagnetyczne.

120 David Premack, Guy Woodruff, *Does the chimpanzee have a theory of mind?*, „Cognition and Consciousness in Nonhuman Species, special issue of Behavioral and Brain Sciences" 1978, nr 1 (4), s. 515–526.

121 Daniel Dennett, *The Intentional Stance*, MIT Press, Cambridge, MA 1989.

122 Zob. np.: model wielokrotnych szkiców Dennetta w: Daniel Dennett, *Świadomość…*; teorię globalnej przestrzeni roboczej w: Bernard J. Baars, *In the Theater of Consciousness*, Oxford University Press, Nowy Jork 1997 oraz teorię redukcji Hameroffa i Penrose'a w: Stuart Hameroff, Roger Penrose, *Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory*, „Physics of Life Reviews" 2014, nr 11, s. 39–78.

123 O ile cała mechanika kwantowa ma swoje źródło w równaniach Schrödingera, o tyle w ciągu dziesięcioleci od wprowadzenia tej teorii wielu fizyków rozwinęło formalizm matematyczny znacznie dalej. Udane przewidywanie, o którym mówię, wyłania się z obliczeń w dziedzinie mechaniki kwantowej znanej jako elektrodynamika kwantowa, która łączy mechanikę kwantową z teorią elektromagnetyzmu Maxwella.

124 Alternatywnym sposobem wyrażenia tego jest sformułowanie, że zgodnie z mechaniką kwantową elektron przed pomiarem nie ma położenia w konwencjonalnym znaczeniu tego słowa.

125 Jak zaznaczono w przyp. 5 do rozdziału 3, istnieje wersja mechaniki kwantowej, w której cząstki zachowują ostre i określone trajektorie, oferujące w ten sposób potencjalne rozwiązanie problemu pomiaru kwantowego. Do tej pory podejście to, zwane mechaniką Bohma lub mechaniką de Broglie'a–Bohma, jest analizowane przez niewielką grupę badaczy na całym świecie. Mimo wszystko nie spisywałbym na straty mechaniki Bohma jako podejścia, które w przyszłości może stać się dominującym punktem widzenia. Innym podejściem do problemu pomiaru kwantowego jest interpretacja wielu światów, w której wszystkie potencjalne wyniki, na jakie pozwala mechanika kwantowa, są realizowane po pomiarze. Trzecią propozycją jest teoria Ghirardiego–Riminiego–Webera (GRW); wprowadza ona nowy, fundamentalny proces fizyczny, który rzadko, ale przypadkowo powoduje kolaps fali prawdopodobieństwa pojedynczej cząstki. W przypadku małych zbiorów cząstek proces ten zachodzi zbyt rzadko, aby mógł wpłynąć na wyniki udanych eksperymentów kwantowych. Natomiast w dużych zbiorach cząstek zachodzi on znacznie szybciej, tworząc efekt domina, w którego konsekwencji wybierany jest dokładnie jeden wynik do realizacji w makroświecie. Więcej szczegółów zob. np. *Struktura kosmosu…*, rozdział 7.

126 Fritz London, Edmond Bauer, *La théorie de l'observation en mécanique quantique, No. 775 of Actualités scientifiques et industrielles; Exposés de physique générale, publiés sous la direction de Paul Langevin*, Hermann, Paris 1939, cyt. za: John Archibald Wheeler, Wojciech Zurek, *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, Princeton 1983, s. 220.

127 Eugene Wigner, *Symmetries and Reflections*, MIT Press, Cambridge, MA 1970.

128 Arystoteles określił działanie jako „dobrowolne”, jeżeli działanie rozpoczęło się w obrębie danego agenta i wyniknęło z jego własnych rozważań – to punkt widzenia, który po znacznym dopracowaniu miał znaczący wpływ. Zob. *Etyka nikomachejska*, przeł. D. Gromska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012. Arystoteles nie włączył deterministycznych praw fizyki do sił zewnętrznych mających zdolność czynienia działania mimowolnym, ale ci (w tym ja), którzy dostrzegają takie fundamentalne, choć bezosobowe wpływy, uważają, że jego pojęcie „dobrowolności” nie jest zgodne z ich intuicją dotyczącą wolnej woli.

129 Tak jak w przyp. 17 do tego rozdziału, kiedy odnoszę się do cząstek tworzących obiekt makroskopowy, jest to skrót pełnego stanu obiektu fizycznego. Klasycznie stan ten jest opisywany położeniami i prędkościami podstawowych składników obiektu. Kwantowomechanicznie opisują go funkcje falowe składników obiektu. Teraz mój akcent położony na cząstki może sprawić, że będziesz się zastanawiać nad polami. Obeznany z matematyką czytelnik wie, że w kwantowej teorii pola dowiadujemy się, iż oddziaływanie pola jest przenoszone przez cząstki (np. oddziaływanie pola elektromagnetycznego jest przenoszone przez fotony); kwantowa teoria pola pokazuje również, że pole makroskopowe można opisać matematycznie jako szczególną konfigurację cząstek – tzw. *stan koherentny* cząstek. Zatem moje odniesienie do „cząstek” zawiera w sobie również odniesienie do pól. Znający teorię kwantów czytelnik zauważy również, że pewne kwantowe własności, takie jak kwantowe splątanie, mogą uczynić stan obiektu bardziej subtelnym pojęciem w kwantowym otoczeniu, w przeciwieństwie do klasycznego. W wielu przypadkach, jakie będziemy omawiać, takie subtelności możemy zignorować; zgodny z prawami, jednolity rozwój świata fizycznego jest zasadniczo wszystkim, czego będziemy potrzebować.

130 Dokładniej mówiąc, prawdopodobieństwo, że cząsteczki skały spiskują, by zepchnąć mnie z ławki, jest tak śmiesznie małe, iż w interesujących nas interwałach czasu można zignorować statystyczną możliwość uratowania mnie przez skałę.

131 Literatura filozoficzna zawiera wiele kompatybilistycznych wniosków. Spośród nich opisywane powyżej podejście jest najbliższe temu, które zaproponował i rozwinął Daniel Dennett w: *Freedom Evolves* (Penguin Books, Nowy Jork 2003), a także w *Elbow Room* (MIT Press, Cambridge, MA 1984) – odsyłam czytelnika do tych pozycji po bardziej szczegółowy opis. Przeżywam te idee od czasu, gdy kilkadziesiąt lat temu nakłoniła mnie do ich przemyślenia Luise Vosgerchian, jedna z nauczycielek, które miały na mnie wpływ. Vosgerchian, profesor muzyki na Harvardzie, była głęboko zainteresowana tym, jak odkrycia naukowe mają się do wrażliwości estetycznej, i poprosiła mnie o napisanie o ludzkiej wolności i kreatywności z punktu widzenia współczesnej fizyki.

132 Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe ukazują to jeszcze bardziej dobitnie. Naukowcy opracowali algorytmy do gry w szachy lub go, które mogą się aktualizować na podstawie analizy sukcesów lub porażek poprzednich ruchów. Wewnątrz komputera, wyposażonego w taki algorytm, mamy jedynie poruszające się w ten lub inny sposób cząstki, i to pod pełną kontrolą praw fizyki. A jednak algorytm ten się poprawia, uczy się, jego działania stają się twórcze. W istocie tak twórcze, że po zaledwie kilku godzinach takiej wewnętrznej aktualizacji najbardziej wyrafinowane układy mogą przejść od gry na poziomie początkującym do triumfu nad mistrzami rangi światowej. David Silver, Thomas Hubert, Julian Schrittwieser i in., *A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play*, „Science" 2018, nr 362, s. 1140–1144.

133 Chodzi o to, że jeśli „ja" jestem moją konfiguracją cząstek, to kiedy ta konfiguracja się zmienia, zarówno jej układ, jak i skład, to czy ja jestem nadal sobą? Jest to wersja innego ważnego filozoficznego pytania – dotyczącego trwania tożsamości – które spowodowało pojawienie się szerokiego spektrum punktów widzenia i odpowiedzi. Jestem zwolennikiem podejścia Roberta Nozicka, zgodnie z którym, używając nieco naukowego żargonu, identyfikujemy moje przyszłe ja przez minimalizację funkcji odległości w przestrzeni kandydatów do tej roli, poszukując osoby, która „najściślej kontynuuje" istnienie, jakie miałem do tej pory. Określenie funkcji odległości jest oczywiście niezbędne, a Nozick zauważa, że ludzie, którzy kładą różny nacisk na definiujące aspekty osobowości, mogą dokonywać różnych wyborów. W wielu przypadkach intuicyjne wyobrażenie tego, kto „najściślej kontynuuje" mnie, jest adekwatne, ale można podać sztuczne, choć zagadkowe przykłady. Na przykład wyobraźmy sobie awarię urządzenia, które wytwarza dwie identyczne kopie mnie w docelowym miejscu. Który zbiór cząstek jest „naprawdę" mną? W tym przypadku Nozick sugeruje, że bez unikatowego, najbliższego kontynuatora mogę już nie istnieć. Ponieważ jednak czuję się komfortowo z nieunikatową minimalizacją funkcji odległości, moja perspektywa jest taka, że obie kopie byłyby mną. Dla użytego w tym rozdziale terminu „ja" intuicyjne pojęcie tożsamości osobistej zgadza się z ujęciem Nozicka, ponieważ różne zbiory cząstek, które intuicyjnie oznaczalibyśmy, powiedzmy, etykietą „Brian Greene" przez całe moje życie, są rzeczywiście najbliższymi kontynuatorami. Zob. Robert Nozick, *Philosophical Explanations*, Belknap Press, Cambridge, MA 1983, s. 29–70.

134 W dyskusji tej podnosi się między innymi kwestię, czy należy ponosić konsekwencje zachowań, które współobywatele lub społeczeństwo uznają za niedopuszczalne. Filozofowie od dawna debatują nad zagadnieniami połączenia wolnej woli z odpowiedzialnością moralną i karą. Kwestie te są złożone i trudne. W skrócie mój pogląd jest taki: z tych samych powodów podanych w niniejszym rozdziale za swoje działania – dobre czy złe – ponosicie sami odpowiedzialność, nawet gdy brak wam wolnej woli. Jesteście waszymi cząstkami, a jeśli wasze

cząstki robią coś złego, to zrobiliście coś złego. Wówczas realnym zagadnieniem staje się pytanie, jakie powinny być tego konsekwencje. Odkładamy na bok fakt, że konsekwencje działań również nie są spowodowane wolną wolą, i pytanie teraz brzmi, czy powinniście ponieść karę. Jedyną odpowiedzią, którą uważam za spójną, a właściwie jedynym początkiem odpowiedzi, który uważam za spójny, jest: oparcie kary na jej funkcji ochrony interesów społecznych, w tym powstrzymywania innych przed niedopuszczalnymi zachowaniami w przyszłości. Poza tym wolna wola jest spójna z uczeniem; Roomba uczy się, podobnie jak ludzie. Dzisiejsze doświadczenia są przyczynowo związane z przyszłymi działaniami. Jeśli więc kara zniechęca cię i/lub innych do podejmowania niedopuszczalnych działań lub je uniemożliwia, to dzięki niej społeczeństwo uzyskuje zadowalający wynik. Podobne rozważania dotyczą „przypadków testowych" często podnoszonych w tych dyskusjach, w których niedopuszczalne zachowania wynikają z okoliczności łagodzących (guzów mózgu, przymusu, schizofrenii, implantów nerwowych kontrolowanych przez niegodziwych obcych i tak dalej), a które mogą uwalniać sprawcę od odpowiedzialności. Zgodnie zatem z poglądem wynikającym z powyższego i z dyskusji w tym rozdziale osoby te są odpowiedzialne za swoje działania. Ich cząstki robiły rzeczy niedopuszczalne. A one są swymi cząstkami. Jednakże, zależnie od szczegółów danej sytuacji, ze względu na okoliczności łagodzące nie ma możliwości, aby kara przyniosła jakąkolwiek korzyść. Jeśli twoje niedopuszczalne zachowanie było spowodowane guzem mózgu, karanie prawdopodobnie nie będzie miało żadnego wpływu na powstrzymanie w przyszłości podobnych zachowań spowodowanych przez podobne okoliczności. A jeśli uda nam się usunąć guza, nie będziesz już stanowić żadnego zagrożenia, kara więc nie zapewni społeczeństwu żadnej dodatkowej ochrony. Krótko mówiąc, kara musi służyć pragmatycznemu celowi.

Rozdział 6
Język i opowieść

Od umysłu do wyobraźni

Wzorzec ma kluczowe znaczenie dla ludzkiego doświadczenia. Przetrwamy, ponieważ potrafimy wyczuć rytmy świata i na nie reagować. Jutro będzie inne niż dzień dzisiejszy, ale mimo tego całego zamętu polegamy na nieprzemijających jakościach. Słońce wzejdzie, skały będą spadać, woda będzie płynąć. Ten niezliczony zbiór pokrewnych wzorców, na które natykamy się w każdej chwili, głęboko wpływa na nasze zachowanie. Wrodzone zdolności są konieczne, a pamięć ma znaczenie, ponieważ wzorce są trwałe.

Matematyka formułuje wzorce. Za pomocą garstki symboli możemy oszczędnie i precyzyjnie wyrazić wzorzec. Galileusz podsumował to stwierdzeniem, że księga natury, która według niego objawia Boga na równi z Biblią, jest pisana językiem matematyki. W ciągu następnych stuleci myśliciele debatowali nad świecką wersją tej opinii. Czy matematyka jest językiem, który ludzie rozwinęli do opisu napotykanych wzorców? A może to ona jest źródłem rzeczywistości, czyniąc wzorce tego świata wyrazem matematycznej prawdy? Moja romantyczna wrażliwość skłania się ku temu ostatniemu stwierdzeniu. Jak cudownie jest wyobrażać sobie, że dokonując przekształceń matematycznych, dotykamy samego fundamentu rzeczywistości. Natomiast moja mniej sentymentalna strona uważa matematykę za nasze własne dzieło rozwinięte po części ze względu na upodobanie do wzorców. W końcu większość analiz

matematycznych nie odgrywa roli w organizacji przetrwania. Nasi przodkowie rzadko kiedy mogli zdobyć sobie posiłek dzięki kontemplacji nad liczbami pierwszymi lub kwadraturą koła, nie wspominając nawet o możliwości reprodukcji.

W epoce nowożytnej zdolności Einsteina wyznaczyły niedościgły standard w wykorzystywaniu naturalnych rytmów. A jednak choć jego spuściznę można podsumować kilkoma uwagami o jego matematyce – zwięzła, precyzyjna, o ogromnym znaczeniu – wypady Einsteina do najgłębszych zakątków rzeczywistości nie zawsze zaczynały się od równań. Albo nawet od werbalizacji. „Często myślę muzyką[135] – tak to opisał. – Bardzo rzadko myślę słowami”[136]. Być może twój proces myślenia jest podobny do Einsteinowskiego. Mój nie. Czasami, kiedy zmagam się z trudnym problemem, mam nagły błysk zrozumienia odzwierciedlający ten lub inny proces zachodzący w mózgu poniżej mojego świadomego postrzegania. Z kolei kiedy jestem świadomy, nawet jeśli w celu dojścia do rozwiązania w wyobraźni używam obrazów, byłoby z mojej strony koloryzowaniem, gdybym twierdził, że w moich myślach słowa są nieobecne, lub gdybym przywoływał obecność w nich muzyki. Zazwyczaj postępów w rozwiązywaniu zagadnień fizyki dokonuję, bawiąc się równaniami i zapisując wnioski za pomocą zwykłych zdań długopisem w notatnikach, które wypełniają jedną półkę po drugiej. Kiedy się koncentruję, często mówię do siebie, zwykle pod nosem, ale od czasu do czasu głośno. Słowa są niezbędne w tym procesie. Chociaż zdanie Wittgensteina „Granice mojego języka oznaczają granice mojego świata”[137]uważam za zbytnią przesadę, to nie mam jednak wątpliwości, że istnieją istotne cechy myśli i doznań, które wykraczają poza język mówiony – do czego wrócimy później – bez języka moje zdolności umysłowe byłyby znacznie mniejsze. Słowa nie tylko wyrażają rozumowanie, lecz także je ożywiają. Albo, jak powiedziała z niezrównaną gracją Toni Morrison: „Umieramy. Taki może być sens życia. Ale posługujmy się mową. Ona może być miarą naszego życia”[138].

Oprócz wyjątkowego geniusza, a może nawet i dla niego także, język jest niezbędny dla każdego w celu uwolnienia wyobraźni. Za pomocą języka możemy wyrazić wizję, w której ubogi świat

rzeczywisty jawi się ze znacznie bogatszymi możliwościami. Potrafimy wyczarować obraz, autentyczny i fantastyczny, w umysłach bliskich i odległych. Potrafimy przekazać ciężko zdobytą wiedzę, zastępując trudy odkrywania łatwością instrukcji. Potrafimy dzielić się planami i uzgadniać intencje, ułatwiając skoordynowanie działania. Potrafimy połączyć nasze indywidualne zdolności twórcze w niezmiernie konsekwentną siłę wspólnoty. Potrafimy spojrzeć w głąb siebie i rozpoznać, że choć kształtowani przez ewolucję, jesteśmy w stanie wznieść się ponad potrzebę przetrwania. I możemy zdumiewać się tym, jak ze stęknięć, chrząknięć, mruknięć, burknięć, które ułożyły się w zbiór spółgłosek i samogłosek, mogliśmy uzyskać wgląd w naturę przestrzeni i czasu lub ukazać wzruszający portret miłości i śmierci: „Wilbur nigdy nie zapomniał Charlotty. Chociaż bardzo kochał jej dzieci i wnuki, żaden z nowych pająków nigdy nie zajął jej miejsca w jego sercu".

Za pomocą języka podejmujemy pisanie zbiorowej narracji, nawarstwiających się opowieści, aby zrozumieć przeżycia.

Pierwsze słowa

Niezależnie od apokryficznego palindromu „Madam, I'm Adam" nikt nie wie, kiedy i dlaczego zaczęliśmy mówić. Darwin spekulował, że mowa wyłoniła się z pieśni, i wyobrażał sobie, że obdarzeni talentem Elvisa łatwiej będziemy przyciągać partnerki i tym samym obficie zasiewać kolejne pokolenia zdolnych pieśniarzy. W ciągu wystarczająco długiego czasu melodyjne dźwięki stopniowo przekształcały się w słowa[139]. Alfred Russel Wallace, mniej utalentowany niż Darwin współodkrywca ewolucji drogą doboru naturalnego, widział rzeczy inaczej. Był przekonany, że dobór naturalny nie pozwala rzucić światła na ludzkie możliwości w zakresie muzyki, sztuki, a w szczególności mowy. Na wymagającej rywalizacji arenie walki o przetrwanie nasi śpiewający, malujący i gadający przodkowie, zdaniem Wallace'a, nie byli w lepszej sytuacji niż ich mniej krzykliwi kuzyni. Widział on tylko jedną drogę dla postępu: „Musimy więc uznać istnienie możliwości – napisał w poczytnym

piśmie »Quarterly Review« – że w rozwoju rodzaju ludzkiego Wyższa Inteligencja skierowała te same prawa dla szlachetniejszych celów”[140]. Skądinąd ślepe prawa ewolucji musiały zostać zaprzęgnięte przez Boską moc i ukierunkowane na rozwój komunikacji i kultury. Kiedy Darwin przeczytał artykuł Wallace’a, był przerażony i mocno podkreślił „nie”[141]na marginesie oraz zwrócił się do autora tymi słowami: „Mam nadzieję, że w ten sposób nie zamordowałeś zupełnie własnego i mojego dziecka”[142].

W ciągu ostatniego półtora wieku badacze opracowali różne teorie dotyczące pochodzenia i wczesnego rozwoju języka, ale podobnie jak w przypadku walczącej na zmianę pary wrestlerów, każda przekonująca na pierwszy rzut oka propozycja spotykała się ze świeżym przeciwnikiem. Panuje znacznie większa zgodność co do wczesnego rozwoju Wszechświata. Jakkolwiek dziwnie to może brzmieć, ma sens. Narodziny Wszechświata pozostawiły po sobie skarby w postaci skamielin. Narodziny języka nic nie pozostawiły po sobie. Wszechobecne mikrofalowe promieniowanie tła, szczególne bogactwo prostych atomów, takich jak wodór i hel, oraz ruchy odległych galaktyk stanowią bezpośrednie ślady procesów, które zaszły w najwcześniejszej epoce Wszechświata. Fale dźwiękowe, najwcześniejsze przejawy języka, rozpraszają się i szybko ulegają zapomnieniu. Chwilę lub dwie po wytworzeniu zanikają. Bez namacalnych reliktów badacze ze swobodą rekonstruują wczesne dzieje języka, co w rezultacie prowadzi do mnogości różnych, często sprzecznych teorii.

Mimo to panuje powszechna zgoda, że język ludzki znacznie różni się od wszelkich innych form komunikacji w królestwie zwierząt. Gdybyś był przeciętną werwetą, byłbyś w stanie ostrzec innych swoich współplemieńców o zbliżającym się drapieżniku, lamparcie (krótkie jęki o wysokiej tonacji), orle (powtarzające się chrząknięcia o niskiej tonacji) lub pytonie (dźwięk naśladujący wymowę słowa *chutters*)[143]. Jednak nie mógłbyś dyskutować o przerażeniu, jakie odczuwałeś, gdy pyton przepełzł obok ciebie wczoraj, lub o swoim planie jutrzejszego ataku na pobliskie ptasie gniazdo. Twoje umiejętności językowe opierałyby się na małym, zamkniętym zbiorze konkretnych dźwięków o ściśle ustalonym znaczeniu, dotyczących

tylko tego, co dzieje się tu i teraz. To samo dotyczy komunikacji obserwowanej u innych gatunków. Bertrand Russell tak to podsumował: „Pies nie może opowiedzieć swojej autobiografii; jakkolwiek elokwentnie by szczekał, nie może powiedzieć, że jego rodzice byli uczciwi, ale biedni”[144]. Ludzki język jest zupełnie inny. Jest on otwarty. Zamiast używać stałych i ograniczonych wyrażeń, łączymy w różne kombinacje skończony zbiór fonemów, aby uzyskać zawiłe, hierarchiczne i niemal nieograniczone sekwencje dźwięków wyrażających wręcz nieogarnięte spektrum myśli. Równie łatwo możemy mówić o napotkanym wczoraj wężu czy jutrzejszym wypadzie do gniazda, jak opisywać zachwycający sen o latającym jednorożcu czy pogłębiający się w nas niepokój, gdy na horyzoncie rozlewa się noc.

Drążąc głębiej, natkniemy się na kontrowersje. Jak to jest, że w ciągu kilku krótkich lat po urodzeniu, bez formalnego polecenia, nabieramy biegłości w jednym lub nawet wielu językach? Czy nasz mózg jest specjalnie skonfigurowany do przyswajania języka, czy też wyjaśnia to dostosowywanie się do miejscowej kultury razem z powszechną skłonnością do uczenia się nowych rzeczy? Czy język ludzki zaczynał się jako zbiór wokalizacji o ustalonych znaczeniach, takich jak sygnały alarmowe werwety, które potem uległy podziale na słowa, czy rozpoczynał się od elementarnych dźwięków, które potem rozbudowały się w słowa i wyrażenia? Dlaczego mówimy? Czy ewolucja umożliwiła mowę, ponieważ zapewnia ona przewagę w walce o przetrwanie, czy mowa jest produktem ubocznym innych ewolucyjnych zmian, takich jak powiększający się mózg? I o czym na całym świecie rozmawialiśmy przez te tysiące lat? I dlaczego?

Noam Chomsky, jeden z najbardziej znanych współczesnych lingwistów, twierdzi, że ludzka zdolność do przyswajania języka polega na tym, że każdy z nas ma uniwersalną gramatykę – to koncepcja o bogatej historii sięgającej trzynastowiecznego filozofa Rogera Bacona, który twierdził, że wiele języków świata ma wspólne podstawy strukturalne. We współczesnym użyciu termin ten podlegał różnym interpretacjom, a na przestrzeni lat również Chomsky dopracowywał jego znaczenie. W swojej najmniej kontrowersyjnej postaci koncepcja uniwersalnej gramatyki zakłada, że w naszej

wrodzonej strukturze neurobiologicznej istnieje coś, co stanowi podkład dla języka, występuje u wielu gatunków i pobudza nasze mózgi do słuchania, rozumienia i mówienia. Zgodnie z tym rozumowaniem dzieci, poddane codziennie przypadkowej, fragmentarycznej i swobodnej ofensywie słownej, mogą przyswoić ogrom precyzyjnych konstrukcji gramatycznych i reguł dzięki posiadaniu ogromnego psychicznego arsenału stojącego w gotowości do przetwarzania tej werbalnej ofensywy. A ponieważ każde dziecko może nauczyć się dowolnego języka, psychiczny arsenał nie może być specyficzny dla danego języka; umysł musi być w stanie uchwycić uniwersalny rdzeń wspólny dla wszystkich języków. Chomsky zasugerował, że pojedyncze zdarzenie neurobiologiczne, „nieznaczne przewinięcie mózgu", być może 80 tysięcy lat temu, mogło spowodować, że nasi przodkowie nabyli tej zdolności, wywołując poznawczy wielki wybuch, który rozsadził język w całym gatunku[145].

Psychologowie kognitywni Steven Pinker i Paul Bloom, pionierzy darwinowskiego podejścia do języka, sugerują mniej szytą na miarę historię, taką, w której język wyłonił się i rozwinął zgodnie ze znanym wzorcem łagodnej akumulacji stopniowych zmian, z których każda dawała jakiś element przewagi w dziele przetrwania[146]. Kiedy pierwsi łowcy-zbieracze wędrowali po równinach i lasach, zdolność komunikowania się – „stado dzików żeruje na jedenastej" albo „uważaj na Barneya, nie spuszcza Wilmy z oczu" lub „to lepszy sposób mocowania tego ostrego kamienia w uchwycie" – była ważnym czynnikiem efektywnego funkcjonowania grupy oraz niezbędnym w dzieleniu się nagromadzoną wiedzą. Mózgi zdolne do komunikowania się z innymi mózgami miały więc przewagę na arenie przetrwania i rozmnażania się, co pobudzało do doskonalenia i szerokiego rozpowszechniania się zdolności językowych. Jeszcze inni badacze przedstawiają wiele metod przystosowywania się do warunków, takich jak kontrola oddechu, zapamiętywanie, myślenie symboliczne, świadomość innych umysłów, tworzenie grupy i tym podobne, które stosowane jednocześnie zrodziły mowę, mimo że sama mowa miała niewielki wpływ na wartość tych metod w walce o przetrwanie[147].

Nie wiadomo też, od kiedy mówimy. Dowody językowe z odległej przeszłości prawie nie istnieją, ale badając wiarygodne zastępcze artefakty archeologiczne, badacze zaproponowali ramy czasowe, w których język mógł się pojawić po raz pierwszy. Artefakty takie jak narzędzia montowane w rękojeści (ociosane kamienie lub kości), sztuka jaskiniowa, geometryczne ozdoby i ozdoby z koralików są dowodem na to, że nasi przodkowie co najmniej od 100 tysięcy lat zajmują się planowaniem, myśleniem symbolicznym i zaawansowanymi interakcjami społecznymi. Ponieważ jesteśmy skłonni powiązać tak wyrafinowane zdolności poznawcze z językiem, możemy sobie wyobrazić, że gdy nasi przodkowie ostrzyli swoje włócznie i siekiery lub czołgali się przez ciemne jaskinie, by malować ptaki i żubry, gawędzili sobie o jutrzejszym polowaniu lub wczorajszym ognisku.

Bardziej bezpośrednie dowody na zdolność mowy pochodzą z innego zbioru archeologicznych spostrzeżeń. Naukowcy śledzący rozwój jam czaszki i zmiany strukturalne w obrębie jamy ustnej i gardła doszli do wniosku, że gdyby nasi przodkowie mieli ochotę mówić, to dzięki fizjologicznej zdolności ku temu mogliby zacząć już ponad milion lat temu. Biologia molekularna również dostarcza wskazówek. Ludzka mowa wymaga wysokiego stopnia sprawności wokalnej i oralnej, a w 2001 roku naukowcy określili, co może być istotną podstawą genetyczną dla takich zdolności. Badając trzy pokolenia pewnej brytyjskiej rodziny, w której występują zaburzenia mowy – trudności z opanowaniem gramatyki i koordynacji złożonych ruchów twarzy i języka niezbędnych do artykułowania mowy – badacze natrafili na defekt genetyczny w genie zwanym FOXP2 ulokowanym u ludzi na chromosomie 7[148]. Ten defekt jest wspólny dla wielu członków rodziny i wpływa na trudności w zrozumieniu słów i zaburzenia wymowy. Wczesne doniesienia prasowe o odkryciu oznajmiające, że FOXP2 jest „genem gramatyki” lub „genem języka”, były przykuwającymi uwagę hasłami, które poirytowały badaczy zbytnim uproszczeniem. Gen FOXP2 wydaje się jednym z istotnych czynników decydujących o normalnych zdolnościach językowych i poprawnej wymowie.

Co ciekawe, u wielu gatunków, od szympansów po ptaki i ryby, zidentyfikowano zbliżone odmiany genu FOXP2, co umożliwia badaczom śledzenie, jak gen ten zmieniał się w trakcie ewolucji. U szympansów białko kodowane przez ich gen FOXP2 różni się od naszego tylko dwoma aminokwasami (z ponad 700), podczas gdy białko neandertalczyków jest identyczne z naszym[149]. Czy nasi neandertalscy kuzyni mówili? Nikt nie wie, ale ta linia rozumowania sugeruje, że genetyczne podstawy mowy i języka mogły zostać ustalone jakiś czas po tym, jak kilka milionów lat temu oddzieliliśmy się od szympansów, ale jeszcze zanim około 600 tysięcy lat temu rozdzieliliśmy się z neandertalczykami[150].

Proponowane związki między językiem a każdym z historycznych markerów – starożytnymi artefaktami, strukturami fizjologicznymi, profilami genetycznymi – są pomysłowe, ale niepewne. W związku z tym badania oparte na tych markerach dają szerokie ramy czasowe dla pierwszych słów wypowiedzianych w naszym świecie, od dziesiątek tysięcy do kilku milionów lat temu. Jak również zauważyli sceptyczni badacze, jedną rzeczą jest fizyczna zdolność i sprawność umysłowa umożliwiająca mowę, a zupełnie inną rzeczą praktyka mówienia. Co więc mogło nas zmotywować do mówienia?

Dlaczego zaczęliśmy mówić

Nie brakuje pomysłów na wyjaśnienie tego, czemu nasi wcześni przodkowie przerwali ciszę. Lingwista Guy Deutscher zauważa, że badacze wyodrębnili pierwsze słowa wyłaniające się „z krzyków i wezwań; z gestów dłoni i języka migowego; ze zdolności do naśladowania; ze zdolności do oszukiwania; z uwodzenia; ze śpiewu, tańca i rytmu; z przeżuwania, ssania i lizania; oraz z prawie każdej innej aktywności zachodzącej pod słońcem”[151] – zachwycającej listy, która prawdopodobnie bardziej odzwierciedla twórcze teoretyzowanie niż historyczne okoliczności poprzedzające pojawienie się języka. Jednak jedna z nich, lub nawet ich połączenie, może opowiedzieć istotną historię. Przyjrzyjmy się więc kilku

sugestiom, skąd wzięły się nasze pierwsze słowa i dlaczego się przyjęły.

W dawnych czasach, przed wprowadzeniem innowacji polegającej na zwijaniu materiału w chustę do noszenia dziecka, mama potrzebująca dwóch rąk do wykonywania pracy musiała dziecko odstawić. Te maluchy, które płakały i gaworzyły, przyciągały uwagę mamy i prawdopodobnie odpowiadając na to, mama mogłaby wydobywać z siebie też jakieś kojące dziecko dźwięki – paplanie, nucenie, pomrukiwanie – którym towarzyszył odpowiedni wyraz twarzy, gesty rąk, delikatny dotyk. Gaworzenie dziecka i czuła opieka mamy zwiększałyby wskaźniki przeżywalności niemowląt, powodowałyby wokalizację i, zgodnie z tą propozycją, prowadziłyby naszych przodków na drogę wiodącą ku wyłonieniu się słów i języka[152].

A jeśli według ciebie mowa matczyna nie przyczyniła się do tego, to zauważ, że gesty są bezpośrednim sposobem przekazywania podstawowych, ale ważnych informacji – kiwanie głową w kierunku tego obiektu lub wskazywanie na tamto miejsce. Niektórzy z naszych kuzynów należących do rzędu ssaków naczelnych, choć nie posługują się językiem mówionym, potrafią biegle przekazywać podstawowe informacje za pomocą gestów dłoni i ciała. A w kontrolowanych warunkach badawczych szympansy nauczyły się wykonywania setek znaków dłońmi w celu określenia różnorakich czynności, przedmiotów, a nawet idei. Co mogłoby znaczyć, że i nasz język mówiony wyłonił się z wcześniejszej fazy komunikacji opartej na gestach. W miarę jak nasze ręce stawały się coraz bardziej zajęte konstruowaniem i używaniem narzędzi, a bardziej złożone zbiorowiska sprawiały, że gesty były niewydajne lub nieporęczne – trudno było je zobaczyć w nocy; trudno było dostrzec ręce i ciała każdego z członków grup, które polują lub zajmują się zbieractwem – wokalizacja mogła zapewniać bardziej skuteczny sposób dzielenia się informacjami. Jako że należę do tych, którzy gestykulują za każdym razem, gdy mówią, a czasami zanim zaczną, wyjaśnienie to wydaje mi się szczególnie przekonujące.

Gdyby jednak gesty nie pokonały twego sceptycyzmu, weź pod uwagę propozycję psychologa ewolucyjnego Robina Dunbara, że

język powstał jako skuteczny substytut szeroko praktykowanej czynności wzajemnego iskania się[153]. Gdybyśmy byli szympansami, to ostrożne wyrywanie gnid oraz usuwanie łuszczącej się skóry i podobnych pozostałości z futer innych osobników twojej społeczności prowadziłoby do przyjaźni i zawarcia sojuszu. Niektórzy członkowie twojej grupy oddaliby ci przysługę, podczas gdy ci, którzy mają wyższy status, zwróciliby uwagę na twoją służbę, ale pozostawiliby twoje gnidy nieruszone. Rytuał iskania jest działaniem organizującym, wspierającym i utrzymującym hierarchię grupy, kliki i koalicji. Wcześni ludzie być może angażowali się w podobną działalność, ale w miarę wzrostu liczebności grupy indywidualne relacje wymagałyby uciążliwej inwestycji czasu. Przyjaźnie, związki i sojusze są niezbędne, ale tak samo niezbędne jest zapewnienie sobie wystarczającej ilości pożywienia. Co robić? No cóż, mówi Dunbar, ten dylemat mógł spowodować pojawienie się języka. W pewnym momencie nasi przodkowie mogli zastąpić ręczne zabiegi pielęgnacyjne werbalizacją myśli, pozwalającą szybko dzielić się informacjami – kto co komu robi, kto jest podstępny, kto jest zaangażowany w wywrotowe spiski i tak dalej – godziny iskania zostały zamienione na minuty obgadywania współplemieńców. Ostatnie badania wykazały, że aż 60 procent naszych dzisiejszych rozmów jest poświęconych plotkom; to zdumiewająca liczba (zwłaszcza w przypadku tych z nas, którzy nie są mistrzami rozmówek towarzyskich), która, jak twierdzą pewni badacze, odzwierciedla główny cel języka w jego początkowym stadium[154].

Lingwista Daniel Dor jeszcze bardziej pogłębia społeczną rolę języka. W przekonującej i rozległej analizie zauważa, że język jest wspólnym narzędziem pełniącym specyficzną i bardzo istotną funkcję: daje jednostkom siłę wpływu na własne wyobrażenia[155]. Przed pojawieniem się języka nasza społeczna komunikacja była zdominowana przez wspólne doświadczenia. Jeśli razem coś widzieliśmy, słyszeliśmy lub próbowaliśmy czegoś, mogliśmy odnieść się do tego za pomocą gestów, dźwięków lub obrazów. Trudno byłoby natomiast komunikować doświadczenia, którymi się dotąd nie dzieliliśmy, nie wspominając już o tak poważnym wyzwaniu, jakim jest komunikowanie abstrakcyjnych myśli i wewnętrznych doznań.

Dzięki językowi poradziliśmy sobie z tymi wyzwaniami, a rynek naszej wymiany społecznej ogromnie się rozrósł: za pomocą języka ktoś mógł opisać doznania, których być może ja nigdy nie doznałem; dzięki słowom zdołał je wyczarować w mojej głowie. A ja mógłbym zrobić to samo w stosunku do niego. W ciągu tysiącleci, gdy dobro naszych jeszcze niemych przodków stawało się coraz bardziej zależne od skoordynowanego wspólnego działania – polowania na duże zwierzęta, przeprowadzania kontrolowanych wypaleń, gotowania dla dużych grup, opieki nad potomstwem i edukacją[156] – przekraczali oni granice wymiany niewerbalnej, starając się stworzyć język i znacznie rozszerzyć arenę społeczną, obejmującą nie tylko wspólne doświadczenia, lecz także wspólne myśli.

Te i prawie wszystkie inne propozycje dotyczące pochodzenia języka kładą nacisk na słowo mówione, zewnętrzną manifestację języka. W typowy dla niego sposób Chomsky odwraca wszystko o 180 stopni i twierdzi, że w swoim najwcześniejszym wcieleniu język mógł uzewnętrzniać nagromadzone wewnątrz myśli[157]. Gdy tylko myśl była w stanie wykorzystać język, wewnętrzny głos w głowach naszych przodków mógł z chłodną pewnością siebie wykonać rozumowanie, dokonać oceny, zaplanować, przewidywać i zrozumieć. Język mówiony, w tym ujęciu, był już późniejszym rozwinięciem, tak jak na przykład dodanie głośników audio do wczesnych modeli komputerów osobistych. To tak, jakby na długo przed pierwszym otwarciem ust nasi przodkowie byli głęboko zamyślonymi i cichymi osobnikami, poważnie zastanawiającymi się nad swoimi codziennymi zadaniami, ale zachowującymi logikę wyłącznie dla siebie. Pogląd Chomsky'ego jest kontrowersyjny. Badacze wskazują na nieodłączne cechy języka, które, jak się wydaje, służą do translacji pojęć wewnętrznych na słowo mówione (zwłaszcza fonologię i znaczną część struktury gramatycznej), sugerując, że od początku w sprawie języka chodziło o komunikację zewnętrzną.

Chociaż pochodzenie języka pozostaje enigmatyczne, to bezsprzeczne i najbardziej istotne jest to, że język i myśl stanowią skuteczną mieszankę. Bez względu na to, czy wewnętrzna wersja języka poprzedzała jego zewnętrzną wokalizację, czy też nie, oraz czy wokalizacja ta była podyktowana śpiewem lub opieką nad

niemowlętami, gestykulacją, plotkami lub wspólnotowym dyskursem bądź posiadaniem wielkiego mózgu lub czegoś zupełnie innego, gdy tylko ludzki umysł posiadł język, zaangażowanie naszego gatunku w rzeczywistość zmieniło się radykalnie.

Ta zmiana oparła się na jednym z najważniejszych i najbardziej rozpowszechnionych zachowań człowieka: opowiadaniu historii.

Opowiadanie historii i intuicja

George Smith się spieszył. Palce jego prawej ręki delikatnie, ale uporczywie stukały w inkrustowaną hebanem krawędź długiego mahoniowego stołu. Właśnie się dowiedział, że Robert Ready, główny konserwator obiektów kamiennych w muzeum, nie wróci przez kilka dni. *Kilka dni*. Jak mógł czekać? Przez trzy lata narzucał płaszcz, sięgał po starannie złożoną kanapkę z marmoladą i serem marki Stilton i przeciskając się przez tłum przechodniów i powozów, gnał do British Museum, gdzie miał zamiar spędzić pozostałe minuty przerwy obiadowej na przeglądaniu fragmentów utwardzonych glinianych tabliczek z wykopalisk archeologicznych w Niniwie. Jego rodzina była biedna. Opuścił szkołę w wieku czternastu lat, aby odbyć praktykę w banku jako rytownik. Perspektywy chłopca nie wydawały się szerokie, ale George był geniuszem. Nauczył się starożytnego języka asyryjskiego i stał się ekspertem w czytaniu pisma klinowego. Kuratorzy muzeum upodobali sobie tego dziwnego dzieciaka, który plątał się wokół nich w południe, szybko zdali sobie sprawę, że potrafi lepiej odczytywać pismo klinowe niż którykolwiek z nich, i dlatego sprowadzili George'a do ich działu jako pełnoetatowego pracownika. Teraz, czyli kilka lat później, George scalił tysiące kawałków gliny, tworząc pierwszą kompletną tabliczkę, i wiele już z niej odczytał. Odkrył – lub wierzył, że odkrył – tajemnicę wyciśniętą w glinie za pomocą serii trójkątnych klinów, związaną z opisem potopu poprzedzającego w Starym Testamencie opowieść o Noem, ale potrzebował Roberta Ready'ego, aby ten delikatnie wyskrobał warstwę osadu przesłaniającą istotny fragment tekstu. George czuł smak zwycięstwa. Drżał na myśl, że odkrycie to da mu

nowe życie. Nie mogąc już wytrzymać, postanowił zaryzykować i samodzielnie oczyścić tabliczkę.

OK, poniosło mnie. Prawdziwy George Smith zaczekał. Kilka dni później Robert Ready powrócił i wykorzystał swoje umiejętności; tym sposobem zostały ujawnione najstarsze zarejestrowane opowieści naszego gatunku, babiloński *Epos o Gilgameszu*, stworzony w trzecim tysiącleciu p.n.e. Moja swobodna relacja tych zdarzeń jest tym, co gawędziarze – my, ludzie – robimy od dawna: przerabiamy rzeczywistość (to, co wiadomo o postaci historycznej, jaką jest George Smith[158]), czasem umiarkowanie (jak tutaj), czasem agresywnie, czasem w celu nadania większego dramatyzmu, czasem dla przyszłych pokoleń, a czasem z czystej radości tworzenia zmyślonych opowieści. Nieznana jest motywacja artystyczna tych, którzy pisali o Gilgameszu, opowieści prawdopodobnie przekazywanej z jednego pokolenia na drugie na przestrzeni wielu wieków. Jednak w tym eposie, pełnym bitew, marzeń, przykładów arogancji, zazdrości, korupcji, niewinności, bohaterowie i ich problemy wyraźnie do nas przemawiają, choć dzielą nas tysiąclecia.

I to naprawdę jest tak uderzające. W ciągu pięciu tysięcy lat, jakie upłynęły od spisania *Eposu o Gilgameszu*, historia była świadkiem wielu przemian w stylu życia i sposobie odżywiania się, komunikowania się, leczenia i prokreacji, a jednak natychmiast rozpoznajemy siebie w tej opowieści. Gilgamesz i jego towarzysz broni Enkidu wyruszyli w podróż, w której mieli sprawdzić swą odwagę, morale i uzyskać ostateczną odpowiedź na pytanie, kim są – to taka neolityczna opowieść o Thelmie i Louise. Pod koniec podróży, gdy Gilgamesz pochyla się nad martwym Enkidu, lamentuje, targany dobrze znanymi nam uczuciami: „Zakrył, jak pannie młodej, twarz swego przyjaciela, jak orzeł krążył wokół niego. Jak lwica pozbawiona swoich młodych chodził tam i z powrotem, tu i tam. Rwał sobie kręcone [włosy], pozrywał swoje ozdoby i [jak] rzecz zakazaną wyrzucił”[159]. Jak wielu, znam to uczucie. Dziesięciolecia temu biegałem w moim maleńkim mieszkanku z pokoju do pokoju, gorączkowo starając się nie przyjąć do wiadomości, że mój ojciec nagle umarł. Odlegli o setki, jeśli nie

tysiące pokoleń dzielimy z naszymi przodkami uczucia całkiem podobne.

I nie chodzi tylko o to, że my, ludzie, stale smucimy się, zachwycamy, zastanawiamy, opłakujemy i badamy. Podzielamy również pragnienie wyrażenia tego wszystkiego w postaci opowieści. *Gilgamesz* być może jest najstarszą zachowaną pisaną opowieścią, ale jeśli nasz gatunek pisał je już tysiące lat temu, to na pewno na długo przedtem przekazywaliśmy historie ustnie. Tak właśnie robimy. I robimy to od dawna. Pytanie brzmi: dlaczego? Dlaczego mielibyśmy rezygnować z dodatkowych polowań na bizony i dziki albo nie zbierać więcej korzeni i owoców, tylko spędzać czas na wyobrażaniu sobie eskapad z kapryśnymi bogami lub podróży do fantastycznych światów?

Możecie odpowiedzieć: dlatego, że lubimy opowieści. Tak. Oczywiście. Dlaczego mielibyśmy wykradać się do kina, pomimo że ten raport ma być na jutro? Dlaczego mielibyśmy czuć się winni, gdy odkładamy „prawdziwą pracę" i kontynuujemy czytanie powieści lub oglądanie serialu? A to dopiero początek wyjaśnienia, a nie koniec. Dlaczego jemy lody? Bo lubimy lody? Tak, z pewnością. Jak jednak przekonująco dowodzą psychologowie ewolucyjni, analiza może być jeszcze bardziej pogłębiona[160].

Ci z naszych przodków, którzy lubili robić zapasy wysokokalorycznego pożywienia, takiego jak mięsiste owoce i dojrzałe orzechy, gdy nastawały chude dni, radzili sobie lepiej, produkując więcej potomstwa i przekazując w genach upodobanie do słodyczy i tłuszczów. Dzisiejszy popyt na orzeszki pistacjowe Häagen-Dazs, których już nie reklamuje się jako produkt zdrowotny, jest współczesnym reliktem niezbędnego w minionych czasach gromadzenia kalorii. Jest to darwinowska selekcja przejawiająca się na poziomie skłonności behawioralnych. Nie żeby geny decydowały o zachowaniu. Takie działania wynikają ze złożonego połączenia biologicznych, historycznych, społecznych, kulturowych i wszelkiego rodzaju przypadkowych wpływów wywieranych na rozmieszczenie naszych cząstek. A nasze gusta i instynkty są istotną częścią tej mieszanki, ewolucja zaś, zwiększając szanse przetrwania, silnie je

kształtowała. Możemy uczyć się nowych sztuczek, ale z punktu widzenia genetyki, a zatem instynktów, jesteśmy starymi psami.

Powstaje więc pytanie, czy ewolucja darwinowska może rozjaśnić nie tylko nasze gusta kulinarne, lecz także literackie. Dlaczego nasi przodkowie tracili cenny czas, energię i uwagę na opowieści, które początkowo raczej nie zwiększały ich szans na przetrwanie? Szczególnie zastanawiające są opowieści zmyślone. Jaka jest ewolucyjna użyteczność w podążaniu za wyimaginowanymi postaciami, które w nieistniejących światach stają przed wyzwaniami pozornie wiarygodnymi? Dzięki niekończącemu się losowemu błądzeniu po dostosowanym krajobrazie ewolucja skutecznie unika przesadnych skłonności behawioralnych. Wszak mutacja genetyczna, która odwiodła nas od instynktu gawędzenia i pozwoliła spożytkować ten czas na wyostrzenie kilku dodatkowych włóczni lub na spożycie kilku dodatkowych tusz bawołów, oferowała atut przetrwania, który z czasem odniósłby zwycięstwo. Tak się jednak nie stało. Albo z jakiegoś powodu była to szansa, którą ewolucja przeoczyła.

Uczeni próbowali zrozumieć dlaczego, ale wskazówek jest niewiele. Niewiele jest dowodów, które pozwoliłyby ustalić, jak bardzo rozpowszechnione było gawędziarstwo i jak dalece przydatne wśród pokoleń odległych o tysiące lat. To uwydatnia wyzwania, jakie stoją przed badaniami ewolucyjnych podstaw zachowań, których różne formy napotkamy w kolejnych rozdziałach. Z punktu widzenia doboru naturalnego liczy się to, jaki wpływ przez większą część historii naszych przodków to czy inne zachowanie miało na szanse ich przetrwania i reprodukcję. Dlatego godna zaufania relacja wymaga wyrafinowanej wiedzy o pradawnym podejściu do pokonywania trudów życia w środowisku przodków. Zapisana historia zawiera informacje z ostatnich 50 tysięcy lat, podczas gdy historia najwcześniejszych migracji ludzkich z Afryki sięga dwóch milionów lat wstecz. Uczeni opracowali pośrednie metody badania przeszłości, w tym szczegółowe analizy starożytnych artefaktów, ekstrapolacje obserwacji etnograficznych pozostałych do dziś grup łowców-zbieraczy oraz badanie architektury mózgu w poszukiwaniu kognitywnego odzwierciedlenia starożytnych wyzwań adaptacyjnych.

Mozaika dowodów ogranicza teoretyzowanie, ale jednak zezwala na różne punkty widzenia.

Jeden z takich punktów widzenia zakłada, że dopatrywanie się w gawędziarstwie roli adaptacyjnej jest poszukiwaniem lepszego dostosowania w niewłaściwym miejscu. Dana predyspozycja behawioralna może być zwykłym produktem ubocznym innych zmian ewolucyjnych – zmian, które wzmocniły umiejętności przetrwania i dlatego ewoluowały w zwykły sposób drogą doboru naturalnego. Ogólna dyrektywa, barwnie ujęta w słynnym artykule Stephena Jaya Goulda i Richarda Lewontina, jest taka, że nie można wybiórczo podchodzić do ewolucji[161]. Czasem bowiem oferuje ona tylko oferty wiązane. Wielkie ludzkie mózgi z szarobiałą masą, wypełnione gęstwiną połączeń neuronowych, są naprawdę dobrze dostosowane do przetrwania, ale być może coś nieodłącznie związanego z ich budową sprawia, że rozkoszują się gawędzeniem. Rozważmy przykład. Nasz sukces jako istot społecznych polega częściowo na zdobyciu dobrych informacji – kto jest górą, kto na dnie, kto jest silny, kto bezbronny, a kto godny zaufania. Ze względu na adaptacyjną użyteczność takich informacji jesteśmy skłonni zwracać na nie uwagę, gdy są dostępne. A kiedy mamy takie informacje, nierzadko dzielimy się nimi, aby podwyższyć nasz status społeczny. Ponieważ fikcja obfituje w tego typu informacje, nasze adaptacyjnie ukształtowane umysły mogą być przygotowane do ożywienia się, słuchania i powtarzania, nawet jeśli relacja jest wyssana z palca. Dobór naturalny uśmiechałby się więc do mózgów, gdy stawały się coraz bardziej doświadczone w życiu społecznym, a jednocześnie przewracał oczami, słuchając ich natrętnego bajania.

Przekonani? Wielu – i ja sam zaliczam się do tej grupy – nie wydaje się prawdopodobne, aby z powodu swojej zdolności do innowacji mózg został zamknięty we wszechobecnym, najważniejszym, a mimo to adaptacyjnie nieistotnym zachowaniu. Aspekty doświadczeń związanych ze snuciem historii mogą być częścią pakietu ewolucyjnego, ale jeśli opowiadanie historii, słuchanie ich i ponowne przekazywanie sprowadzałoby się do nic nieznaczącego paplania, to ewolucja, jak można się spodziewać, znalazłaby sposób na pozbycie

się takiej rozrzutności. Jak zatem opowiadanie historii może zarobić na swoje adaptacyjne utrzymanie?

Szukając odpowiedzi, musimy być świadomi zasad gry. Zbyt łatwe jest wymyślanie po fakcie ról adaptacyjnych dla wielu zachowań. A ponieważ nie jesteśmy w stanie powtórzyć rozwoju ewolucyjnego w celu przetestowania takich sugestii, istnieje niebezpieczeństwo, że pozostaniemy z historiami „właśnie takimi". Najbardziej przekonującymi propozycjami są te, które rozpoczynają się od danego wyzwania adaptacyjnego – takiego, którego pokonanie zwiększyłoby sukces reprodukcyjny – i dowodzą, że to zachowanie (lub zestaw zachowań) ze swej natury sprosta owemu wyzwaniu. Darwinowskie wyjaśnienie naszej słabości do słodyczy służy tu przykładem. Ludzie potrzebują minimum kalorii, aby przetrwać i się rozmnażać. W obliczu niszczycielskiego niedoboru kalorii preferowanie pożywienia o dużej zawartości cukru ma oczywistą wartość adaptacyjną. Gdybyśmy projektowali ludzki umysł i byli świadomi fizjologicznych potrzeb ludzkiego ciała oraz natury środowiska przodków, łatwo sobie wyobrazić, że programowalibyśmy ten mózg tak, aby zachęcał ciało do jedzenia owoców wszędzie tam, gdzie są one dostępne. Nie jest więc zaskoczeniem taki dobór naturalny doprowadzający do właśnie tej strategii. Chodzi o to, czy istnieją podobne rozważania adaptacyjne w odniesieniu do zaprogramowania ludzkiego umysłu do tworzenia opowiadań i słuchania opowieści.

Istnieją. Opowiadanie historii może być dla umysłu sposobem na relacjonowanie realnego świata, mózgową wersją żwawych działań, które są udokumentowane dla wielu gatunków, zapewniających bezpieczny sposób praktykowania i doskonalenia istotnych umiejętności. Steven Pinker, czołowy psycholog o wszechstronnym umyśle, opisuje szczególnie kiepską wersję tego pomysłu: „Życie jest jak szachy, a fabuły są jak książki o słynnych rozgrywkach szachowych, które studiują poważni gracze, aby się przygotować na podobne sytuacje"[162]. Pinker myśli, że za pomocą opowieści każdy z nas buduje „katalog mentalny" strategicznych metod, które w razie potrzeby możemy zastosować, aby poradzić sobie z potencjalnie trudnymi problemami życiowymi. Nasi przodkowie, gdy ich geny były

przekazywane przez kolejne pokolenia, napotykali jedną przeszkodę za drugą, od odpierania ataków przebiegłych współplemieńców przez pozyskiwanie potencjalnych przyjaciół po organizowanie zbiorowych polowań, unikanie trujących roślin, pouczanie młodych, rozdzielanie skromnych zapasów żywności i tak dalej. Zanurzenie się w fikcyjnych opowieściach o zmaganiach z podobnymi wyzwaniami pozwoliło udoskonalić strategie i reakcje naszych przodków. Kodowanie mózgu w celu angażowania się w fikcję było więc sprytnym sposobem, aby tanio, bezpiecznie i skutecznie dać umysłowi szerszy wachlarz doświadczeń, z których może korzystać.

Niektórzy literaturoznawcy odrzucili ten pomysł, zauważając, że strategie stosowane przez fikcyjne postacie stojące w obliczu wyzwań nie są, ogólnie rzecz biorąc, łatwe do przeniesienia do prawdziwego życia, a przynajmniej nie jest to celowe[163]. „Możesz skończyć, biegając w kółko jak komicznie szalony Don Kichot lub tragicznie oszukana Emma Bovary – obie te postacie schodzą na manowce, pomyliły bowiem literacką fantazję z rzeczywistością" – tak Jonathan Gottschall żartobliwie podsumowuje tę krytykę[164]. Pinker oczywiście nie sugerował, że kopiujemy działania, które napotykamy w opowiadaniach, ale że pobieramy z nich naukę. To podejście, jak zauważa Gottschall, być może pełniej oddaje skromna zamiana metafory na tę wprowadzoną przez psychologa i powieściopisarza Keitha Oatleya[165]. Zamiast pliku mentalnego wyobraź sobie symulator lotu. Opowieści budują zmyślone światy, w których śledzimy bohaterów przeżywających przygody, jakich my prawie nigdy nie doświadczamy. Dzięki zapożyczonym oczom, chronionym przez pancerną szybę opowiadania, obserwujemy z bliska wielość egzotycznych światów. I to właśnie dzięki tym symulowanym epizodom nasza intuicja rozszerza się, udoskonala, staje się ostrzejsza i bardziej elastyczna. W obliczu tego, co nieznane, nie zaczynamy od kognitywnego sprawdzania w rozumie jego kolumny z poradami. Zamiast tego za pomocą opowieści uwewnętrzniamy bardziej zróżnicowane poczucie tego, jak reagować i dlaczego, a ta wewnętrzna wiedza będzie wskazówką dla naszych przyszłych zachowań. Kultywowanie wrodzonego poczucia heroicznej pasji w niczym nie przypomina walki z wiatrakami – i to był mój

punkt widzenia, a także wielu innych, gdy przewróciłem ostatnią stronę przygód Alonsa Quijano.

Biorąc symulator lotu za metaforę adaptacyjnej użyteczności opowieści, jak byśmy zaprogramowali sam symulator? Jakiego rodzaju historie miałby uruchomić? Odpowiedź możemy znaleźć na pierwszej stronie programu nauczania Creative Writing 101. Potrzeba konfliktu jest aksjomatem opowiadania historii. Tak jak potrzeba występowania trudności. Tak jak potrzeba kłopotów. Wciągają nas postacie dążące do celów wymagających usunięcia zdradzieckich przeszkód, zewnętrznych i wewnętrznych. Ich podróże, dosłowne i symboliczne, trzymają nas w takim napięciu, że jak szaleni przewracamy strony. Z pewnością najbardziej urzekające opowieści wywołują zaskoczenie, przyjemność, nawet wręcz budzące podziw podejście do postaci, fabuły i samej techniki opowiadania, ale pozbawiona konfliktu opowieść ponosi klęskę. To nie przypadek, że to samo dotyczy darwinowskiej użyteczności treści wyświetlanej na narracyjnym symulatorze lotu. Bez konfliktu, bez trudności, bez kłopotów adaptacyjna wartość opowieści też by skończyła się fiaskiem. Opowieść o Józefie K., który chętnie przyznaje się do nienazwanej zbrodni i posłusznie odsiedzi nieuzasadniony wyrok, byłaby zwykłym, krótkim czytadłem. A bez żadnych innych zwrotów narracji nie miałaby tego znaczenia w literaturze. Podobnie jak Dorotka, która radośnie oddaje Srebrne Trzewiczki, schodzi z żółtej ceglanej drogi i asymiluje się w krainie Manczkinów. Czyste niebo, podręcznikowo doskonałe silniki i wzorowi pasażerowie nie są atrybutami symulacji, które poprawiają przygotowanie pilota. Ćwiczenie zdarzeń z realnego świata jest przydatne wtedy, gdy symulowane sytuacje byłyby trudne do opanowania bez uprzedniego do nich przygotowania.

To punkt widzenia, który może również rzucić światło na to, dlaczego ty, ja i wszyscy inni spędzamy kilka godzin każdego dnia, wymyślając historyjki, które rzadko zapamiętujemy i jeszcze rzadziej się nimi dzielimy. Pisząc: dzień, mam na myśli noc, a historyjki to te, które tworzymy podczas fazy snu zwanej REM. Ponad sto lat od wydania *Objaśniania marzeń sennych* Freuda nadal nie ma zgody co do tego, dlaczego śnimy. Przeczytałem książkę Freuda dla

młodszych klas gimnazjum zatytułowaną *Higiena* (tak, naprawdę tak się nazywała), nieco udziwniony przedmiot obowiązkowy, którego uczyli szkolni nauczyciele wychowania fizycznego i trenerzy, skupiając się na pierwszej pomocy i powszechnych standardach czystości. Brakowało materiału do zapełnienia całego semestru, a zajęcia zdominowały obowiązkowe prezentacje uczniów na tematy luźno związane z nauczanym przedmiotem. Wybrałem sen i marzenia i prawdopodobnie potraktowałem je zbyt poważnie, czytając Freuda i spędzając po lekcjach czas na przeszukiwaniu literatury przedmiotu. Zachwyciła mnie, a także klasę, praca Michela Jouveta, który pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku badał koci świat snów[166]. Dzięki uszkodzeniu części ich mózgu (miejsce sinawe, jeśli lubisz tego typu rzeczy), która zazwyczaj uniemożliwia marzeniom sennym stymulowanie aktywności ciała, śpiące koty gotowały się do skoku, wyginały w łuk, syczały i drapały, prawdopodobnie reagując na wyimaginowane drapieżniki i ofiary. Gdyby ktoś nie wiedział, że zwierzęta śpią, mógłby pomyśleć, że ćwiczą kocią sztukę walki. Całkiem niedawno badania na szczurach z wykorzystaniem bardziej wyrafinowanych sond neurologicznych wykazały, że wzorce ich sygnałów mózgowych podczas snu tak ściśle odpowiadają tym, które zostały zarejestrowane podczas nauki nowego labiryntu po przebudzeniu, że naukowcy mogą śledzić postępy śniącego szczurzego umysłu, gdy ten przebiega wcześniej przebytą trasę[167]. Kiedy koty i szczury śnią, wydaje się, że ćwiczą zachowania istotne dla przetrwania.

Nasz wspólny z kotami i gryzoniami przodek żył około 70 lub 80 milionów lat temu, zatem ekstrapolacja spekulatywnych wniosków na temat gatunków oddzielonych dziesiątkami milionów lat wiąże się z licznymi ostrzeżeniami. Można sobie jednak wyobrazić, że nasze zasobne w język umysły mogą tworzyć sny w podobnym celu: przeprowadzenia treningów poznawczych i emocjonalnych, które poszerzą wiedzę i wyćwiczą intuicję – nocne sesje na symulatorze lotu opowieści. Być może właśnie dlatego każdy z nas spędza około siedmiu lat życia z zamkniętymi oczami, z ciałem prawie sparaliżowanym, chłonąc eposy własnego autorstwa[168].

Jednak z natury rzeczy opowiadanie historii nie jest jedynym środkiem komunikacji. Stanowi ono nasz najpotężniejszy sposób zamieszkiwania w innych umysłach. Dla nas jako gatunku głęboko społecznego zdolność do chwilowego przenikania do innego umysłu może być kluczowa dla przetrwania i dominacji. Daje to powiązany z nim model powodów zakodowania opowieści w ludzkim repertuarze zachowań – czyli ustalenia adaptacyjnej użyteczności naszego instynktu opowiadania.

Opowiadanie historii i inne umysły

Profesjonalny dyskurs wśród fizyków prowadzony jest na ogół specjalistycznym żargonem okraszonym konfetti w postaci równań. Nie jest to rodzaj narracji, który przyciągnąłby takich, co zgromadzeni wokół ogniska pochylają się nad nim, aby się ogrzać. Jeśli jednak wiesz, jak odczytywać równania i interpretować żargon, historie, które są przez nie opowiadane, mogą być ekscytujące. W listopadzie 1915 roku, kiedy wyczerpany Albert Einstein, bliski ukończenia swojej ogólnej teorii względności, układał równania w celu wyjaśnienia zagadki orbity Merkurego odchylającej się nieco od newtonowskich przewidywań, tak się wzruszył, że doznał palpitacji serca. Przez prawie dekadę żeglował po zdradliwych wodach matematyki, a wynik tych obliczeń przypominał pierwszą obserwację lądu. Parafrazując późniejszą ocenę Alfreda Northa Whiteheada, oznaczało to, że śmiałe poszukiwania Einsteina dotarły bezpiecznie do brzegu zrozumienia[169].

Nigdy nie miałem odkrycia tak monumentalnego. Niewielu miało, ale nawet bardziej prozaiczne dokonania mogą dostarczyć podobnego dreszczyku emocji. W tych momentach istnieje poczucie głębokiego związku z kosmosem. Na tym właśnie polegają historie rozgrywające się w matematyce abstrakcyjnej i wyrażane specjalistycznym językiem. Opowieści te dają intymny obraz Wszechświata lub czegoś, co znajduje się we Wszechświecie, w miarę jak się rodzi, jak się starzeje, jak się przekształca. Opowieści są środkiem doświadczania Wszechświata z perspektywy, która

inaczej jest nieosiągalna. Stanowią one bramę do rzeczywistości, która w przypadkach dających największą satysfakcję jest całkowicie nieoczekiwana. Matematyka potwierdzona eksperymentem i obserwacją daje nam możliwość obcowania z dziwnym i cudownym kosmosem.

Analogiczną rolę odgrywają historie, które od tysięcy lat opowiadamy w językach naturalnych. Przez opowieści uwalniamy się od perspektywy jednostki i na krótką chwilę w inny sposób stajemy się mieszkańcami świata. Doznajemy tego oczami gawędziarza dzięki jego wyobraźni. Symulator lotu opowieści jest naszym portalem dla idiosynkratycznych światów istniejących w bliskich umysłach. Jak mówi Joyce Carol Oates, czytanie „jest jedynym środkiem, za pomocą którego wślizgujemy się mimowolnie, często bezradnie, w cudzą skórę, cudzy głos, cudzą duszę (...) aby mieć dostęp do nieznanej nam świadomości”[170]. Bez opowieści subtelne cechy innych umysłów byłyby równie nieprzeniknione jak mikroświat bez znajomości mechaniki kwantowej.

Czy istnieje ewolucyjna konsekwencja dla tej charakterystycznej jakości opowieści? Naukowcy tak sobie wyobrażali. Przetrwaliśmy głównie dlatego, że jesteśmy gatunkiem bardzo społecznym. Żyjemy i pracujemy w grupach. Nie w idealnej harmonii, ale współpracujemy dostatecznie, by podwyższyć rachunek przetrwania. Nie chodzi tylko o bezpieczeństwo ujęte w liczbach. To ujęte w liczbach wprowadzanie innowacji, wyznaczanie zadań, udział w nich i współpraca. Kluczowe znaczenie dla udanego życia w grupie ma sam wgląd w różnorodność ludzkich doświadczeń, które są przekazywane przez opowieść. Jak zauważył psycholog Jerome Bruner, „Tworzymy nasze doświadczenie i naszą pamięć o wydarzeniach głównie w formie narracyjnej”[171], co skłania do wątpliwości, czy „takie zbiorowe życie byłoby możliwe, gdyby nie nasza ludzka zdolność do organizowania i komunikowania doświadczeń w formie narracyjnej”[172]. Za pomocą narracji badamy zakres ludzkich zachowań, od społecznych oczekiwań do potwornej transgresji. Doświadczamy rozpiętości ludzkich motywacji, od wzniosłych ambicji do karygodnej brutalności. Mamy do czynienia z całym wachlarzem ludzkich skłonności, od triumfu ze zwycięstwa

po rozdzierające serce sceny w przypadku straty. Jak podkreślił literaturoznawca Brian Boyd, narracje sprawiają, że „krajobraz społeczny staje się bardziej żeglowny, ekspansywny, ukazuje więcej możliwości", wzbudzając w nas „pragnienie zrozumienia naszego świata nie tylko w kategoriach własnego bezpośredniego doświadczenia, lecz także doświadczenia innych – i niejedynie tych realnych innych"[173]. Czy to opowiedziane przez mity, historie, bajki, czy nawet upiększone relacje z codziennych wydarzeń, narracje są kluczem do naszej społecznej natury. Za pomocą matematyki komunikujemy się z innymi rzeczywistościami; za pomocą historii komunikujemy się z innymi umysłami.

Kiedy byłem dzieckiem, często oglądałem z moim tatą serial *Star Trek*, co stało się rodzinną tradycją, którą przekazałem swojemu synowi. Opowieści obyczajowe połączone z operą kosmiczną mają silny wpływ na tych, którzy lubią heroiczną eksplorację serwowaną ze szczyptą rozważań filozoficznych. Jeden z najbardziej intrygujących epizodów, *Darmok* z kontynuacji tego serialu pod tytułem *Next Generation*, przedstawia niezwykłą rolę opowieści w kształtowaniu cywilizacji. Tamarianie, obca rasa humanoidów, porozumiewają się ze sobą wyłącznie za pomocą alegorii, dlatego bezpośrednie wyrażanie myśli przez kapitana Picarda jest dla nich równie zaskakujące co dla niego ich nieustanne odwoływanie się do nieznanych mu opowieści. Picard w końcu pojmuje ich światopogląd oparty na alegoriach i ustanawia międzygatunkową burzę mózgów, opowiadając *Epos o Gilgameszu*.

Dla Tamarian wzorce życia i wspólnoty są zawarte w zbiorze wspólnych historii. Nasz wzorzec mentalny nie jest tak ściśle określony, ale mimo to narracja stanowi jeden z naszych podstawowych schematów koncepcyjnych. Antropolog John Tooby i psycholog Leda Cosmides, pionierzy psychologii ewolucyjnej, sugerują dlaczego: „Wyewoluowaliśmy nie tak dawno temu z organizmów, których jedynym źródłem informacji (nie wrodzonych) było własne doświadczenie jednostki"[174]. A doświadczenie, czy to zmaganie się z tłumem na dzisiejszym Times Square, czy koordynacja grupowego polowania na równinach kenozoicznej Afryki, dostarcza informacji w pakietach przypominających

opowieści. Gdybyśmy stworzyli fantazyjną, nadludzką wizję odsłaniającą istotę cząstek, na którą powołałem się w poprzednim rozdziale, pakiety doświadczeń mogłyby mieć inny charakter: być może zorganizowalibyśmy nasze myśli i wspomnienia za pomocą trajektorii cząstek lub kwantowych funkcji falowych. Natomiast w przypadku zwykłych ludzkich wyobrażeń paleta doświadczeń jest kolorowana narracją, a więc nasze umysły są przystosowane do odmalowywania Wszechświata w opowieści.

Zauważmy jednak, że treść to jedno, a jej forma to coś innego. Chociaż doświadczenie wzbudza zachwyt strukturą opowieści, my posługujemy się narracją, by nasze zrozumienie wybiegało daleko poza granice ludzkich spotkań. Postęp naukowy jest doskonałym przykładem. Opowieści o samotnym gatunku wyruszającym na podbój wielkich tajemnic rzeczywistości i powracającym z jednymi z najbardziej zaskakujących spostrzeżeń mogą być w istocie rzeczy kwintesencją dramatu i bohaterskich czynów. Jednak kryteria sukcesu treści naukowej są krańcowo różne od tych, jakimi mierzymy nasze ludzkie odyseje. Racją bytu nauki jest odrzucenie zasłony zakrywającej obiektywną rzeczywistość, zatem relacje naukowe muszą być zgodne z zasadami logiki oraz powtarzalnymi pomiarami eksperymentu. To siła i zarazem ograniczenie nauki. Dzięki rygorystycznemu przestrzeganiu standardów, które minimalizują subiektywizm, nauka daje wyniki wykraczające poza każdą z jednostek określonego gatunku. Niezmiernie ważne kwantowe równanie Schrödingera mówi wiele o elektronach – ale też o tym, jak pasjonujące jest równanie, które określa ruch tych maleńkich cząstek z większą precyzją niż jakakolwiek inna relacja o czymkolwiek innym, co zachodzi na planecie – lecz matematyka nie mówi nam nic o Schrödingerze i o reszcie nas. Jest to cena, jaką nauka z dumą płaci za kronikę kwantową, która może okazać się istotna daleko poza naszym małym zakątkiem rzeczywistości i być może ma wpływ na całą przestrzeń i cały czas.

Historie, które opowiadamy o przychodzeniu i odchodzeniu postaci, zarówno prawdziwych, jak i fikcyjnych, dotyczą czego innego. Odkrywają bogactwo naszej nieuchronnie ograniczonej i na wskroś subiektywnej egzystencji. Zapierająca dech w piersiach opowieść

Ambrose'a Bierce'a, relacjonująca chwilę egzekucji na moście Owl Creek, wydobywa istotę tego, co Ernest Becker określił jako „straszne wewnętrzne pragnienie życia"[175]. Dzięki opowiadaniu doświadczamy spotęgowanej wersji tego pragnienia. I kiedy wyobrażamy sobie wyczerpanego, ale uszczęśliwionego Peytona Farquhara pragnącego uściskać żonę, szarpnięcie pętli gwałtownie wyrywa go, i razem z nim nas, z jego wyobrażonej ucieczki, a wówczas komplikuje się nasze poczucie tego, co to znaczy być człowiekiem. Za pomocą języka opowieść rozsadza granice, które zostałyby narzucone przez nasze własne ciasne doświadczenia. Gdy mistrzowsko dobrane słowa władają naszą wyobraźnią, zyskujemy głębsze poczucie człowieczeństwa i bardziej zróżnicowane rozumienie tego, jak przetrwać jako gatunek społeczny.

Niezależnie od tego, czy mamy do czynienia z faktami, czy z fikcją symboliczną lub dosłowną, impuls opowiadania jest uniwersalny dla ludzi. Pojmujemy świat przez nasze zmysły, a dążąc do spójności i przewidując możliwości, szukamy schematów, wymyślamy schematy i wyobrażamy sobie schematy. Opowiadając historię, wyrażamy to, co znajdujemy. Jest to ciągły proces, który ma kluczowe znaczenie dla naszego życia i nadaje sens egzystencji. Opowieści o postaciach, prawdziwych i wymyślonych, reagujących na sytuacje znane oraz wyjątkowe, tworzą wirtualny wszechświat ludzkiego zaangażowania, który ożywia nasze reakcje i udoskonala nasze działania. Kiedyś w dalekiej przyszłości, jeśli w końcu będziemy witać gości z odległego świata, nasze naukowe narracje będą zawierały prawdy, które oni prawdopodobnie również odkryli, tak więc będą mieli niewiele do zaoferowania. Nasze ludzkie narracje, jak ta o Picardzie i Tamarianach, powiedzą im, kim jesteśmy.

Mity

W naukowej społeczności wyniki badań zdobywają popularność dzięki wyjaśnianiu nierozwiązanych dotąd zagadnień lub rozwiązywaniu trudnych problemów teoretycznych bądź gdy

umożliwiają osiągnięcie tego, co wcześniej było niemożliwe. Zdecydowana większość osiągnięć naukowych pozostaje dziedziną wiedzy ekspertów, ale niektóre są tak spektakularne, że mają głęboki wpływ na kulturę. Przeważnie dotyczą one wielkich zagadnień, które wykraczają poza rutynę naukową: Jak zaczął się Wszechświat? Czym jest czas? Czy przestrzeń jest tym, czym się wydaje? Jeśli zrozumiesz najbardziej wyrafinowane odpowiedzi nauki na tak wielkie pytania, twój sposób postrzegania rzeczywistości z pewnością ulegnie zmianie. To, że jesteśmy małą planetą orbitującą wokół przeciętnej gwiazdy powstałej w następstwie ogromnej inflacji pierwotnej przestrzeni, stwarza w mych myślach pytanie o to, czy pasujemy do tego wielkiego obrazu rzeczy. To, że dla mnie czas upływa w innym tempie niż każdemu innemu, kto nie porusza się ze mną, jest zadziwiającym faktem, nad którym zastanawiam się bez końca. To, że nasza pozornie trójwymiarowa rzeczywistość może być niewielkim wycinkiem wielkiego przestworu, jest możliwością, którą uwielbiam sobie wyobrażać.

Przez tysiąclecia również w poszczególnych kulturach powstawały szczególne opowiadania, którym udawało się zyskać wyższą rangę i wywrzeć ogromny wpływ na postrzeganie rzeczywistości w społeczeństwie. Są to mity – opowieści, które zdobyły miano świętości. Mit zwykle trudno zdefiniować, ale określimy go jako opowieść, która odwołuje się do czynników nadprzyrodzonych w celu nadania sensu ważnym dla danej kultury zjawiskom: jej pochodzeniu, od dawna praktykowanym rytuałom, szczególnym metodom narzucania porządku w świecie. Dzięki swej długowieczności, atrakcyjności i obfitości wyjaśnień mity stają się podstawą wspólnego dziedzictwa, zbiorem wszystkich tragedii i triumfów, kronik i fantazji, przygód i refleksji określających ludzkie charaktery i kształtujących społeczeństwo.

Istnieje długa historia uczonych, którzy wnikliwie rozwijali metody odczytywania i interpretowania mitu. Na początku XX wieku antropolog sir James Frazer przypuszczał, że mity wyłoniły się z prób wyjaśnienia zastanawiających zjawisk życia i natury, z którymi mieli do czynienia nasi starożytni przodkowie. Psychoanalityk Carl Jung uważał, że za pośrednictwem archetypów – uniwersalnych wzorców,

które, jak przypuszczał, są nieodłącznie związane z nieświadomym umysłem – mity wyrażają wspólne cechy ludzkiego doświadczenia. Joseph Campbell dowodził istnienia „monomitu", głównego wzorca mitologicznych opowieści, w którym pewna postać na skutek jakiegoś wezwania podejmuje wbrew sobie działania pełne niebezpieczeństw i śmiertelnie niebezpiecznych rytuałów przejścia i w końcu wraca do domu jako nowo narodzony bohater, którego dzieje wstrząsają naszym poczuciem rzeczywistości[176]. Niedawno filolog Michael Witzel zasugerował, że wzorzec uniwersalny wyłania się najwyraźniej nie na poziomie indywidualnych mitów, ale dopiero wtedy, gdy weźmiemy pod uwagę zbiór mitów tworzących tradycję – linię powiązanych ze sobą opowieści, która rozciąga się od początku świata do jego ostatecznego upadku. Powołując się na językoznawstwo, genetykę populacyjną i archeologię, Witzel twierdzi, że cechy wspólne tych narracji można znaleźć we wcześniejszej formie mitologii, która powstała w Afryce, być może już sto tysięcy lat temu[177].

Te propozycje, a także inne, zbyt liczne, by je wymienić, wzbudzają kontrowersje i płomienną krytykę. Mają swoich zwolenników i przeciwników, powstają i upadają. Niektórzy uczeni sugerują, że choć powab jedynego, nadrzędnego wobec innych wyjaśnienia mitu jest dość silny – pomógłby zidentyfikować wszechobecne cechy, które ukształtowały nasze starożytne dziedzictwo – to złożoność ludzkiego życia rozgrywającego się w mrokach historii być może nie nadaje się do tego celu. Tu, w naszym przypadku, przegląd wyjaśnień jest bardziej ograniczony. Religioznawczyni Karen Armstrong dała najbardziej oszczędne ze wszystkich podsumowań, zauważając, że mity „prawie zawsze są zakorzenione w doświadczeniu śmierci i strachu przed unicestwieniem"[178], ale nawet jeśli jesteśmy trochę bardziej zachowawczy i łagodniejsi, to „prawie zawsze" lub „często" bądź „w wielu przypadkach" wciąż mamy wzór do naśladowania.

Kilka przykładów: kiedy Gilgamesz usłyszy o człowieku, którego bogowie podobno uczynili nieśmiertelnym, nie zatrzyma się przed niczym, podróżuje po ogromnym pustkowiu, spogląda w dół na ogromne skorpiony, pokonuje Wody Śmierci – by poznać tajemnicę

ucieczki przed nieuniknionym końcem. Śmierć jest głównym elementem hinduskiej opowieści o bogini Kali, której doskonałość tak rozzłościła innych bogów, że odcięli jej głowę za pomocą błyskawicy[179]. Śmierć jest osnową mitu o stworzeniu Kono, w którym Sa, bóstwo śmierci, wierzy, że jego córka została uprowadzona przez boga Alatanganę, a w ramach zemsty całą ludzkość czyni śmiertelną. W rejonie Oceanii to także ważny temat w opowieści o Ma-ui, który wślizguje się w przerażające szczęki śpiącej złej bogini Wielkiej Hiny, bogini nocy, pragnąc zapewnić sobie nieśmiertelność przez wyrwanie jej serca – ale Hina budzi się i ostrymi jak brzytwa zębami rozrywa go na strzępy[180]. Przypadkowe pęknięcie otwiera twoją ulubioną antologię mitów świata, a ty nie musisz iść daleko, by nastąpić na zapadnię śmierci. Te opowieści o postaciach walczących o swoje życie i przynoszących światu śmierć odbijają się echem w wielu historiach o zagładzie całego świata. Jak zauważa Witzel, taki kres „może nastąpić w ostatecznym światowym pożarze – przykłady to *Götterdämmerung* lub Ragnarök w Eddzie, stopiony metal w micie zaratusztriańskim, destrukcyjny taniec ognia Sziwy w Indiach, ogień w micie Mundy, ogień/woda i tym podobne w mitach Majów i innych Indian Ameryki Środkowej oraz ostateczne zniszczenie ziemi przez Atuma w mitach egipskich”[181]. A jeśli pragniecie czegoś więcej, to istnieją liczne opowieści o innych kataklizmach z udziałem lodu, niekończącej się zimy i powszechnych na całym świecie powodzi.

Co tu się dzieje? Po co tyle niebezpieczeństw, śmierci i zniszczeń? Narracja zachęca do konfliktu i kłopotów; bez tych elementów trudno będzie nam znaleźć historię do opowiedzenia, o ile nie będziemy dążyć do odwrócenia norm narracyjnych. Połączmy to z przerysowanymi problemami będącymi istotą mitów – miejsce pochodzenia lub pochodzenie ludzi i powody ich sposobu bycia – a nieodłączne dylematy dojdą do skrajności. Pasmo zdarzeń nie mogłoby się inaczej rozwijać. Odkąd mamy już język i opowiadamy historie, potrafimy żyć nie tylko teraźniejszością. Z łatwością poruszamy się w przeszłości i przyszłości. Potrafimy planować i projektować, koordynować i komunikować się, przewidywać i się przygotowywać. Użyteczność tych zdolności jest oczywista, ale dzięki takiej sprawności umysłowej żyjemy również pamięcią o tych, którzy

byli, ale ich już nie ma. Wyciągamy z tego wzorca nienaruszalny wniosek, że każde życie kończy się śmiercią. Zdajemy sobie sprawę, że życie i śmierć są złączone nieprzyjaznym uściskiem. Są one dualnymi cechami egzystencji. Zastanawianie się nad początkiem to poruszenie zagadnień związanych z końcem. Rozmyślanie o tym, jak żyć, to jak rozmyślanie o braku życia. Uświadomienie sobie nieuchronności śmierci jest dla nas nadrzędnym celem chwili obecnej, a jak można sobie wyobrazić, jeszcze bardziej nadrzędnym w epokach, w których mogła ona nadejść w wyniku kaprysu. Nic dziwnego, że temat śmierci i zagłady nabrał takiego znaczenia.

Po jednak co wypełniać te starożytne opowieści maniakalnymi olbrzymami, wężami ziejącymi ogniem, mężczyznami z głowami byka i tym podobnymi fantazjami? Po co fantastyczne straszne opowieści zamiast przerażającego realizmu? Po co oglądać *Poltergeista* i *Egzorcystę* zamiast *Szeregowca Ryana* i *Wściekłych psów*? Pascal Boyer, antropolog i kognitywista, opierając się na wczesnej pracy kognitywisty Dana Sperbera[182], sugeruje odpowiedź. Aby jakaś idea przyciągnęła naszą uwagę z taką siłą, że zapamiętamy ją i przekażemy innym, musi być na tyle nowatorska, aby zaskakiwać, ale nie na tyle oburzająca, by uznać ją za bezsensowną. Boyer argumentuje, że określone rozważania osiągają kognitywnie optymalny punkt, kiedy są „minimalnie sprzeczne z intuicją" – co oznacza, że nie są zgodne z jednym, no może nawet dwoma naszymi głęboko zakorzenionymi oczekiwaniami[183]. Niewidzialni ludzie? Jasne, dopóki niewidzialność jest jedyną niezgodną z intuicją własnością. Rzeka, która rozwiązania zagadnień analizy matematycznej wyśpiewuje do melodii przewodniej serialu *M*A*S*H*? Głupie i jako takie zostało odrzucone przez prawie wszystkich i szybko zapominane. Pasujący do przerysowanych motywów przewodnich zawartych w mitach bohaterowie, z którymi się spotykamy, przyciągają uwagę, ale są minimalnie sprzecznymi z intuicją konstruktami ludzkiej wyobraźni. Nic dziwnego, że bohaterowie ci mają fizyczną postać, procesy myślowe, a nawet osobowości co najmniej dobrze nam znane, nawet jeśli ich moce przekraczają wszystko to, z czym kiedykolwiek mieliśmy do czynienia.

Język dodaje mitowi dodatkową moc twórczą. Kiedy już będziemy zdolni opisać strukturę zwykłych zjawisk – szalejących burz, palących się drzew, pełzających węży i tak dalej – język zapewni dogodną narrację, pozwalając nam swobodnie dobierać się do siebie. Język uwalnia zdolności poznawcze, pozwalając na wyobrażanie sobie wszelkiego rodzaju niesprawdzonych kombinacji, które prowadzą nas ku nowości[184]. Umysły, które posiadły tę moc, są zdolne postrzegać stare problemy w nowy sposób. Są to umysły, które wprowadzają innowacje, a z czasem kontrolują i kształtują świat.

Rzucanie się w wir twórczości jest również odbiciem cechy naszego umysłu – wrodzonej skłonności do uważania wszystkiego, co napotykamy, a co wskazuje na zdolność do oddziaływania na nas, za stworzone według jakiejś myśli. Jak już wspomniałem we wcześniejszej dyskusji o świadomości, kiedy napotykamy innych ludzi, nawet na odległość bez bezpośredniego kontaktu, natychmiast obdarzamy ich umysłem mniej więcej takim jak nasz własny. Z ewolucyjnego punktu widzenia to dobrze. Inne umysły mogą sterować zachowaniami, które łatwiej przewidzieć. To samo odnosi się do zwierząt, instynktownie więc przypisujemy im intencje i pragnienia, ale czasami, jak podkreślają psycholog Justin Barrett i antropolog Stewart Guthrie, przesadzamy[185]. Pod względem ewolucyjnym to może też być dobra rzecz. Pomylenie w świetle księżyca odległego krzewu z odpoczywającym lwem to nic wielkiego. Przypisanie trzasku łamanej gałązki wiejącemu wiatrowi, gdy zakrada się lampart, to śmiertelna pomyłka. Przy przypisywaniu sprawczości w środowisku naturalnym lepiej przesadzić, niż nie docenić (oczywiście do pewnego stopnia) – to lekcja, którą wzięły sobie do serca molekuły DNA wraz ze sterowanymi przez nie środkami umożliwiającymi mówienie.

Kilkadziesiąt lat temu podczas rzadkiej dla mnie wyprawy na biwak musiałem sprostać wyzwaniu krótkiego samotnego pobytu w lesie. Wyposażony w plandekę, śpiwór, trzy zapałki, małą puszkę, długopis i dziennik, poczułem się bardziej niż kiedykolwiek samotny. Pod żadnym względem, praktycznym czy psychicznym, nie byłem na to przygotowany. Poradziłem sobie z niskim prowizorycznym szałasem, naciągając brezent na gałęzie, ale zużyłem wszystkie zapałki podczas

pierwszej nieudanej próby wzniecenia ognia. Gdy słońce zaczęło zachodzić i narastał strach, rozwinąłem śpiwór, wsunąłem się weń i gapiłem na brezent unoszący się blisko nad moją twarzą. Byłem o krok od paniki. Dla moich miejskich uszu i zmęczonej wyobraźni każdy podmuch i każde skrzypienie oznaczało skradającego się niedźwiedzia lub pumę. Nie miałem złudzeń co do mego bohaterstwa, ale każda pozornie niekończąca się sekunda zbliżała mnie coraz bardziej do własnego rytuału przejścia w objęcia śmierci. Wyjąłem długopis i wydrapałem parę krągłych oczu, zapaćkany nos i krzywe usta, z lekko wywiniętymi w górę kącikami; pisanie na brezencie nie jest wygodne, ale przerywane niebieskie linie rysowane na karbowanej karcie kredytowej wystarczyły. Byłem wciąż sam, ale już nie czułem tego w pełni. Jeśli każdy z tych nocnych odgłosów lasu był stworzony z rozmysłem, to tak samo było z moim dziełem. Byłem na odludziu tylko trzy dni, ale już nie sam.

Ewolucja wpoiła nam tendencję do wyobrażania sobie otoczenia pełnego obiektów, które myślą i czują; czasami mamy sobie pomyśleć, że oferują one pomoc i radę, ale częściej powinniśmy uważać, bo tylko spiskują i planują, psują nam szyki i są podstępne, mogą zaatakować i się mścić. Przesadne przypisywanie odgłosom i innym zjawiskom intencji stwarzającej zagrożenie może uratować ci życie. Posiadanie elastycznych zdolności poznawczych pozwalających na tworzenie fantastycznej mieszaniny z elementów rzeczywistości może być zarodkiem innowacyjności. Nadawanie zwykłym bohaterom zaskakujących nadprzyrodzonych właściwości przyciąga uwagę i ułatwia transmisję kulturową. Połączone razem elementy te wyjaśniają powstawanie historii, które urzekały wyobraźnię naszych przodków i dzięki narracji udzielały porad, jak poruszać się w starożytnym świecie.

Z czasem najtrwalsze z tych mitów zasiały jedną z sił, które najsilniej przekształciły świat: religię.

135 Alice Calaprice (red.), *The New Quotable Einstein*, Princeton University Press, Princeton 2005, s. 149.

136 Max Wertheimer, *Productive Thinking*, wyd. rozszerzone, Harper and Brothers, Nowy Jork 1959, s. 228.

137 Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, przeł. B. Wolniewicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.

138 Toni Morrison, wykład noblowski, 7 grudnia 1993 r., https://www.nobelprize.org/prizes/literature/1993/morrison/lecture/.

139 Jak napisał Darwin: „Człowiek pierwotny, a raczej jakiś wczesny przodek człowieka, prawdopodobnie po raz pierwszy użył swojego głosu do tworzenia prawdziwych kadencji muzycznych, czyli w śpiewie" i dodał: „Ta moc byłaby szczególnie wykorzystywana podczas zalotów, wyrażałaby różne emocje, takie jak miłość, zazdrość, triumf, i służyłaby jako wyzwanie dla rywali" (Karol Darwin, *O pochodzeniu człowieka i doborze w odniesieniu do płci*, przeł. L. Masłowski, Hachette Polska, Warszawa 2011).

140 W wydaniu kwietniowym „Quarterly Review" z 1869 roku Wallace w nawiązaniu do sił napędzających ewolucję – „praw zróżnicowania, mnożenia i przetrwania" – stwierdził, że jak zauważono w tym rozdziale, „musimy zatem przyznać możliwość, iż w rozwoju rodzaju ludzkiego Wyższa Inteligencja kierowała tymi samymi prawami dla szlachetniejszych celów" (Alfred Russel Wallace, *Sir Charles Lyell on geological climates and the origin of species*, „Quarterly Review" 1869, nr 126, s. 359–394).

141 Joel S. Schwartz, *Darwin, Wallace, and the Descent of Man*, „Journal of the History of Biology" 1984, nr 17 (2), s. 271–289.

142 Karol Darwin, list do Alfreda Russela Wallace'a, 27 marca 1869 r., https://www.darwinproject.ac.uk/letter/?docId=letters/DCP-LETT-6684.xml;query=child;brand=default.

143 Dorothy L. Cheney, Robert M. Seyfarth, *How Monkeys See the World: Inside the Mind of Another Species*, University of Chicago Press, Chicago 1992. Nagranie tych połączeń alarmowych można usłyszeć na stronie internetowej BBC: https://www.bbc.co.uk/sounds/play/p016dgw1.

144 Bertrand Russell, *Human Knowledge*, Routledge, Nowy Jork 2009, s. 57–58.

145 R. Berwick, N. Chomsky, *Why Only Us?*, MIT Press, Cambridge, MA 2015. Chociaż niektórzy kwestionowali koncepcję, że potrzeba stosunkowo szybkiej zmiany biologicznej komplikuje rozumienie ewolucji, Chomsky argumentował, iż wpisuje się ona w nowoczesną, neodarwinowską perspektywę, obejmującą epizody biologiczne, takie jak powstawanie oka, które odbiegają od tradycyjnego poglądu, że wszystkie części organizmu ewoluują powoli i stopniowo.

146 S. Pinker, P. Bloom, *Natural language and natural selection*, „Behavioral and Brain Sciences" 1990, nr 13 (4), s. 707–784; Steven Pinker, *The Language Instinct*,

W. Morrow and Co., Nowy Jork 1994; tegoż, *Language as an adaptation to the cognitive niche*, w: *Language Evolution: States of the Art*, red. S. Kirby, M. Christiansen, Oxford University Press, Nowy Jork 2003, s. 16–37.

147 Na przykład jak zauważył lingwista i psycholog Michael Tomasello: „Na pewno wszystkie języki świata mają ze sobą coś wspólnego (...) Jednak źródłem tych podobieństw nie jest żadna uniwersalna gramatyka, ale raczej są one efektem uniwersalnych aspektów ludzkiego poznania, interakcji społecznych i przetwarzania informacji – większość z nich istniała u ludzi, zanim powstał jakikolwiek nowoczesny język" (Michael Tomasello, *Universal Grammar Is Dead*, „Behavioral and Brain Sciences" 2009, nr 32 [5], s. 470–471).

148 Simon E. Fisher, Faraneh Vargha-Khadem, Kate E. Watkins, Anthony P. Monaco, Marcus E. Pembrey, *Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder*, „Nature Genetics" 1998, nr 18, s. 168–170; C.S. L. Lai i in., *A novel forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder*, „Nature" 2001, nr 413, s. 519–523.

149 Johannes Krause, Carles Lalueza-Fox, Ludovic Orlando i in., *The Derived FOXP2 Variant of Modern Humans Was Shared with Neandertals*, „Current Biology" 2007, nr 17, s. 1908–1912.

150 Fernando L. Mendez i in., *The Divergence of Neandertal and Modern Human Y Chromosomes*, „American Journal of Human Genetics" 2016, nr 98 (4), s. 728–734.

151 Guy Deutscher, *The Unfolding of Language: An Evolutionary Tour of Mankind's Greatest Invention*, Henry Holt and Company, Nowy Jork 2005, s. 15.

152 Dean Falk, *Prelinguistic evolution in early hominins: Whence motherese?*, „Behavioral and Brain Sciences" 2004, nr 27, s. 491–541; tegoż, *Finding Our Tongues: Mothers, Infants and the Origins of Language*, Basic Books, Nowy Jork 2009.

153 R.I.M. Dunbar, *Gossip in Evolutionary Perspective*, „Review of General Psychology" 2004, nr 8 (2), s. 100–110; tegoż, *Pchły, plotki a ewolucja języka: dlaczego człowiek zaczął mówić?*, przeł. T. Pańkowski, Copernicus Center Press, Kraków 2017.

154 N. Emler, *The Truth About Gossip*, „Social Psychology Section Newsletter" 1992, nr 27, s. 23–37; R.I.M. Dunbar, N.D.C. Duncan, A. Marriott, *Human Conversational Behavior*, „Human Nature" 1997, nr 8 (3), s. 231–246.

155 Daniel Dor, *The Instruction of Imagination*, Oxford University Press, Oksford 2015.

156 O roli rozpalania ognia i gotowania zob. Richard Wrangha, *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*, Basic Books, Nowy Jork 2009; o grupowym rodzicielstwie zob. Sarah Hrdy, *Mothers and Others: The Evolutionary Origins of Mutual Understanding*, Belknap Press, Cambridge, MA 2009; o uczeniu się i współpracy zob. Kim Sterelny, *The Evolved Apprentice: How Evolution Made Humans Unique*, MIT Press, Cambridge, MA 2012.

157 R. Berwick, N. Chomsky, *Why Only Us?*..., rozdział 2.

158 David Damrosch, *The Buried Book: The Loss and Rediscovery of the Great Epic of Gilgamesh*, Henry Holt and Company, Nowy Jork 2007.

159 *Gilgamesz: epos babiloński i asyryjski*, przeł. R. Stiller, Wydawnictwo Vis-à-vis Etiuda, Kraków 2015.

160 Aby zapoznać się z perspektywą i zasadami psychologii ewolucyjnej, zob. John Tooby i Leda Cosmides, *The Psychological Foundations of Culture*, w: *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, red. Jerome H. Barkow, Leda Cosmides i John Tooby, Oxford University Press, Oksford 1992, s. 19–136; David Buss, *Evolutionary Psychology: The New Science of the Mind*, Allyn & Bacon, Boston 2012.

161 S.J. Gould i R.C. Lewontin, *The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme*, „Proceedings of the Royal Society B" 1979, nr 205 (1161), s. 581–598.

162 Steven Pinker, *Jak działa umysł*, przeł. M. Koraszewska, Książka i Wiedza, Warszawa 2002; Brian Boyd, *On the Origin of Stories*, Belknap Press, Cambridge, MA 2010; tegoż, *The evolution of stories: From mimesis to language, from fact to fiction*, *WIREs Cognitive Science* 2018, nr 9, s. e1444.

163 Patrick Colm Hogan, *The Mind and Its Stories*, Cambridge University Press, Cambridge 2003; Lisa Zunshine, *Why We Read Fiction: Theory of Mind and the Novel*, Ohio State University Press, Columbus 2006.

164 Jonathan Gottschall, *The Storytelling Animal*, Mariner Books, Houghton Mifflin Harcourt, Boston–Nowy Jork 2013, s. 63.

165 Keith Oatley, *Why fiction may be twice as true as fact*, „Review of General Psychology" 1999, nr 3, s. 101–117.

166 Ciekawe relacje z badań Jouveta zob. Barbara E. Jones, *The mysteries of sleep and waking unveiled by Michel Jouvet*, „Sleep Medicine" 2018, nr 49, s. 14–19; Isabelle Arnulf, Colette Buda i Jean-Pierre Sastre, *Michel Jouvet: An explorer of dreams and a great storyteller*, „Sleep Medicine" 2018, nr 49, s. 4–9.

167 Kenway Louie, Matthew A. Wilson, *Temporally Structured Replay of Awake Hippocampal Ensemble Activity During Rapid Eye Movement Sleep*, „Neuron" 2001, nr 29, s. 145–156.

168 Dziwaczne narracje, które często kojarzą nam się ze snem – naruszające prawo fizyczne, logiczną kolejność wydarzeń i wewnętrzną spójność – mogą sugerować, że akt snu nie ma większego znaczenia dla wydarzeń w świecie rzeczywistym. Jednak częstość występowania takich dziwnych snów może być znacznie mniejsza, niż sugerują nasze anegdotyczne oceny. Zamiast tego znaczna część naszych snów może mieć realistyczną treść. Antti Revonsuo, Jarno Tuominen i Katja Valli, *The Avatars in the Machine-Dreaming as a Simulation of Social Reality*, Open MIND 2015, s. 1–28; Serena Scarpelli, Chiara Bartolacci, Aurora D'Atri i in., *The Functional Role of Dreaming in Emotional Processes*, „Frontiers in Psychology" 2019, nr 10, s. 459.

169 Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World*, Free Press, Nowy Jork 1953, s. 10.

170 Joyce Carol Oates, *Literature as Pleasure, Pleasure as Literature*, https://www.narrativemagazine.com/issues/stories-week-2015–2016/story-week/literature-pleasure-pleasure-literature-joyce-carol-oates.

171 Jerome Bruner, *The Narrative Construction of Reality*, „Critical Inquiry" 1991, nr 18 (1), s. 1–21.

172 Jerome Bruner, *Making Stories: Law, Literature, Life*, Farrar, Straus and Giroux, Nowy Jork 2002, s. 16.

173 Brian Boyd, *The evolution of stories*…, s. 7–8, e1444.

174 John Tooby, Leda Cosmides, *Does Beauty Build Adapted Minds? Toward an Evolutionary Theory of Aesthetics, Fiction and the Arts*, „SubStance" 2001, nr 30 (1/2, 94/95), s. 6–27.

175 Ernest Becker, *The Denial of Death*…, s. 97.

176 Joseph Campbell, *The Hero with a Thousand Faces*, New World Library, Novato, CA 2008, s. 23.

177 Michael Witzel, *The Origins of the World's Mythologies*, Oxford University Press, Nowy Jork 2012.

178 Karen Armstrong, *Krótka historia mitu*, przeł. I. Kania, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, Kraków 2005.

179 Marguerite Yourcenar, *Opowieści wschodnie*, przeł. K. Dolatowska, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1988.

180 Scott Leonard, Michael McClure, *Myth and Knowing*, McGraw-Hill Higher Education, Nowy Jork 2004, s. 283–301.

181 Michael Witzel, *The Origins*…, s. 79.

182 Dan Sperber, *Rethinking Symbolism*, Cambridge University Press, Cambridge 1975; Dan Sperber, *Explaining Culture: A Naturalistic Approach*, Blackwell Publishers Ltd., Oksford 1996).

183 Pascal Boyer, *Functional Origins of Religious Concepts: Ontological and Strategic Selection in Evolved Minds*, „Journal of the Royal Anthropological Institute" 2000, nr 6 (2), s. 195–214. Zob. także M. Zuckerman, *Sensation seeking: A comparative approach to a human trait*, „Behavioral and Brain Sciences" 1984, nr 7, s. 413–471.

184 Bertrand Russell podkreślił rolę języka, który ułatwia myślenie, zauważając, że „język służy nie tylko do wyrażania myśli, lecz także do tworzenia możliwych myśli, które bez niego nie mogłyby istnieć" (Bertrand Russell, *Human Knowledge*…, s. 58). Opisał on, jak pewne „dość skomplikowane myśli" wymagają słów, i jako przykład przytoczył stwierdzenie, że bez języka nie da się sformułować jakiejkolwiek „myśli w ogóle ściśle odpowiadającej temu, co stwierdza się w następującym zdaniu: »stosunek obwodu okręgu do średnicy wynosi około 3,14159«". Konstrukcje mniej precyzyjne, ale wykraczające poza granice doświadczenia, takie jak mówiące drzewa, płaczące chmury czy szczęśliwe kamyki, są podatne na bezsłowne wcielenia w ludzkim umyśle, ale ich tworzeniu szczególnie sprzyja kombinatoryczna i hierarchiczna natura języka. Daniel Dennett podkreślił rolę języka w ludzkiej zdolności do wymyślania związków cech, które pojedynczo istnieją w rzeczywistości, ale w połączeniu przenoszą nas w sferę fantastyczną (Daniel Dennett, *Breaking the Spell*: *Religion as a Natural Phenomenon*, Penguin Books, Nowy Jork 2006, s. 121). Jak omówimy w rozdziale 8, niektóre rodzaje sztuki szczególnie ułatwiają przepływ idei w innym kierunku: od myśli wyrażanych słowami do pozbawionych języka uczuć empirycznych.

185 Justin L. Barrett, *Why Would Anyone Believe in God?*, AltaMira, Lanham, MD 2004; Stewart Guthrie, *Faces in the Clouds: A New Theory of Religion*, Oxford University Press, Nowy Jork 1993.

Rozdział 7
Umysł i wiara

Od wyobraźni do świętości

Wyobrażam sobie, że kiedy w końcu nawiążemy kontakt z istotami inteligentnymi spoza Ziemi, one również opowiedzą historię pełną prób odnalezienia sensu życia. Człowiek zdolny do budowania teleskopów, do konstruowania statków kosmicznych, do sięgania w kosmos i przysłuchiwania się jego świergotowi jest istotą, która ma zdolność do autorefleksji. W miarę jak inteligencja dojrzewa, ten sam impuls zgłębiania i rozumienia przejawia się jako pragnienie nadania znaczenia doświadczeniu. Odpowiedzcie na pytania „jak", a za nimi szybko pojawią się pytania „dlaczego". Tu, na Ziemi, przetrwanie zmusiło naszych pierwszych przodków, by byli technikami. Musieli nauczyć się obrabiać kamień, odlewać brąz i żelazo, opanować techniki łowieckie, zbierackie i rolnicze. Jednak zaspokajając istotne potrzeby w celu przetrwania, nasi przodkowie zmagali się z takimi samymi pytaniami o pochodzenie, znaczenie i cel, które zadajemy sobie teraz. Aby przetrwać, trzeba znaleźć przyczynę, dla której przetrwanie ma znaczenie. Nieuniknione było więc, że technicy stali się filozofami. Albo naukowcami. Albo teologami. Albo pisarzami. Albo kompozytorami. Albo muzykami. Albo artystami. Albo poetami. Albo wyznawcami tysięcy sposobów myślenia i twórczej ekspresji obiecujących nam uzyskanie wglądu w te pytania, które targają naszym wnętrzem, gdy już napełniliśmy żołądki.

Z naszych niekończących się opowieści i mitów jasno wynika, że najbardziej uporczywe z tych pytań to pytania egzystencjalne. Jak zaczął się świat? Jak się skończy? Jak to jest, że w jednej chwili jesteśmy, a w następnej już nas nie ma? Dokąd zmierzamy? Czy inne światy istnieją gdzieś tam?

Wyobrażenia innych światów

Około 100 tysięcy lat temu gdzieś w Izraelu w rejonie dzisiejszej Dolnej Galilei dziecko, które miało cztery, może pięć lat, bawiąc się cicho, albo być może psocąc, doznało urazu głowy. Płeć dziecka jest nieznana, ale wyobraźmy sobie, że była to mała dziewczynka. Przyczyna urazu też jest nieznana. Może było to potknięcie się na stromym skalistym wzgórzu, upadek z drzewa albo zbyt sroga kara? Wiemy, że uderzenie spowodowało rany przedniej prawej strony głowy i uszkodzenie mózgu, które doprowadziło do jej śmierci w wieku dwunastu lub trzynastu lat. Fakty te zostały odkryte na podstawie badań szczątków szkieletu znalezionego w jaskini Kafza, jednym z najstarszych miejsc pochówku, w którym wykopaliska rozpoczęły się w latach trzydziestych. Chociaż w miejscu tym znaleziono również szczątki 26 innych osób, pochówek dziewczynki jest charakterystyczny. Dwa rogi jelenia zostały ułożone w poprzek klatki piersiowej zmarłej, a ich końce spoczywały w jej dłoniach, co według badaczy jest dowodem na pochówek ceremonialny. Czy poroże może być niezamierzonym ornamentem? Być może. Wnioski zespołu badawczego w sprawie Kafza 11 łatwiej byłoby ocenić, gdyby dziecko zostało rozpoznane, a jego zwłoki spoczęły w trakcie rytuału odprawionego 100 tysięcy temu przez wczesnych ludzi zastanawiających się nad zagadką śmierci i być może rozmawiających o tym, co nastąpi potem[186].

Mimo że wnioski odnośnie do wydarzeń tak odległych w czasie ze względów oczywistych są niepewne, to wykopaliska pochówków z późniejszych epok czynią tę interpretację bardziej wiarygodną. W 1955 roku we wsi Dobrowo, około 200 kilometrów na północny wschód od Moskwy, Aleksander Nacharow obsługiwał koparkę

we włodzimierskich Zakładach Ceramicznych i zauważył kości zmieszane z żółtawobrązową gliną. Okazało się, że są one pierwszymi z wielu, jakie w ciągu następnych kilkudziesięciu lat odkryto w Sungir, jednym z najbardziej znanych miejsc pochówku epoki paleolitu. Jeden grób jest szczególnie zadziwiający: chłopiec i dziewczynka w wieku około dziesięciu i dwunastu lat zostali pogrzebani w pozycji głowami zwróconymi ku sobie, co sprawia wrażenie wiecznego złączenia dwóch młodych umysłów. Umarli ponad 30 tysięcy lat temu, a ich zwłoki pochowano z kolekcją misternych przedmiotów wyposażenia grobowego. Nakrycia głowy udekorowane były zębami lisów arktycznych, posiadali opaski z kości mamuta, kilkanaście włóczni z kości mamuta, dziurkowane krążki kościane i – coś dla fanów Liberace – ponad 10 tysięcy rzeźbionych kościanych koralików prawdopodobnie wszytych w dziecięce stroje pogrzebowe. Naukowcy oszacowali, że wykonanie tych ozdób mogło zająć rzemieślnikowi ponad rok, gdyby pracował w ogromnym tempie 100 godzin tygodniowo[187]. Włożenie takiego wysiłku wskazuje, że rytuały pogrzebowe były częścią strategii przezwyciężania nieodwołalności śmierci. Ciało może przestać istnieć, ale pewne istotne cechy osobiste, wzmocnione lub załagodzone, uczczone lub wynagrodzone przez dodanie podczas pochówku wyszukanych przedmiotów, będą nadal istnieć.

Dziewiętnastowieczny antropolog Edward Burnett Tylor przekonywał, że to sny, wpływając na przekonania wczesnych ludzi, prowadziły ich do tego właśnie wniosku[188]. Całkiem dobrze możemy sobie wyobrazić, że takie nocne eskapady, od ciekawych do dziwnych, sugerowałyby istnienie jakiegoś innego świata poza tym widocznym dla otwartych oczu. Obudzenie się po wizycie zmarłego przyjaciela czy krewnego, niezależnie od tego, czy przyniosłoby to pocieszenie, czy strach, pozostawiłoby poczucie, że oni nadal istnieją. Nie w taki sposób jak kiedyś i oczywiście nie tutaj, ale blisko, w jakimś nieziemskim sensie. Pisemne relacje, choć dostępne dopiero znacznie później, wspierają te przypuszczenia, cytując wiele przypadków snów dających wgląd w ukrytą rzeczywistość. Starożytni Sumerowie i Egipcjanie interpretowali sny jako boskie dyrektywy; w Starym i Nowym Testamencie wola boska jest często objawiana

we śnie. A w epoce nowożytnej badania odizolowanych społeczeństw łowieckich, takich jak australijscy Aborygeni, ujawniają zasadniczą rolę Czasu Snu, wiecznej dziedziny, z której pochodzi całe życie i do której ono powróci. Stany sennego transu powszechne są również w wielu tradycyjnych rytuałach podczas forsownego tańca w rytm instrumentów perkusyjnych, mogących trwać godzinami i wywoływać hipnotyczne sny na jawie, które uczestnicy opisują jako uczucie przenoszenia w różne płaszczyzny rzeczywistości[189].

Również w stanie czuwania nie brakuje epizodów sugerujących istnienie innej niż widzialna rzeczywistości: potężnych sił działających na ziemi i w niebie; nagłych zdarzeń dnia codziennego; częstych zagrożeń i niebezpieczeństw grożących śmiercią. Ewolucyjny sukces w środowisku społecznym przygotował nasz mózg, tak aby wspólne doświadczenia przypisywać działaniom bliźnich. Kiedy uderzył piorun, pojawiła się powódź lub zadrżała ziemia, wciąż wyobrażaliśmy sobie, że za to odpowiedzialna jest istota myśląca. A zatem możemy sobie wyobrazić, że nasi przodkowie, uznając granice swoich wpływów w tym niepewnym świecie, wymyślili postaci zamieszkujące niewidzialną krainę i władające takimi właśnie mocami, których oni byli pozbawieni.

To była bardzo mądra reakcja, niezależnie od tego, czy świadoma, czy nie, która pozwoliła na powiązanie przypadkowych zdarzeń w spójne opowieści: na wyobrażenie sobie niewidzialnych domen zaludnionych postaciami znajomymi i zmyślonymi. Na nadanie im imion i twarzy, przypisanie wpływu na to, co robimy, oraz całkowitej kontroli nad naszym losem. W ten sposób śmierć okazała się bramą wiodącą do tych niewidzialnych, lecz dominujących światów, przez którą przeszła Kafza 11 i jej dwudziestu kilku towarzyszy z jaskini, a także pokolenia ich przodków. Umożliwiło to snucie opowieści i tworzenie na ich podstawie nowych, a z pomocą tych narracji opisywanie sławnych postaci z tych pobliskich światów, ich słabostek, uraz, zazdrości i wszelkiego rodzaju ludzkich postaw, aby wyjaśnić skądinąd niewyjaśnione zdarzenia występujące w naszym własnym świecie.

Nasze pradawne artystyczne próby dostarczają dalszych wskazówek o innych doczesnych troskach. Na całym świecie

odkrywcy znaleźli dziesiątki tysięcy namalowanych na ścianach skalnych obrazów pochodzących nawet sprzed ponad 40 tysięcy lat. Ukazują one menażerię od lwa do nosorożca, a potem pomysłowe mieszane obrazki, w tym kobietę polującą na jelenia i mężczyznę polującego na ptaka. Ludzka postać, o ile się pojawia, odgrywa rolę drugorzędną, często jako szkic pierwotny. Kolekcje odcisków ludzkich dłoni są liczne, przedstawione jako chaotycznie nakładające się na siebie kontury, a ich znaczenia możemy jedynie się domyślać – starają się dotknąć innej rzeczywistości, tęsknią za pozornie nieskończoną trwałością skały, próbują odcisnąć bujny ornament albo pozostawiają wczesne wersje napisu „Kilroy tu był". Intencje zacierają się i pozostaje nam tylko zachwyt, kiedy rozpoznajemy w tańczącym czarodzieju i umierającym bizonie najwcześniejsze wysiłki twórcze, które wydają się tak nam bliskie. A tuż pod powierzchnią skały dostrzegamy przez moment własną postać wpatrzoną w przeszłość.

Kryje się w tym zarówno coś ekscytującego, jak i pułapka. Powab spotykania się z kulturą naszych starożytnych przodków może skłonić nas do nadawania ich twórczym dziełom niewłaściwego znaczenia. Być może sztuka jaskiniowa nie jest niczym więcej jak bezmyślnymi esami-floresami wczesnego świadomego umysłu. Albo – ujmijmy to w bardziej wzniosłym tonie – być może sztuka jaskiniowa to starożytny ekwiwalent kierunku nazywanego niekiedy „sztuką jako celem samym w sobie"[190]. Przypisywanie inspiracji tym, którzy żyli setki wieków temu, jest ryzykownym zajęciem, posłuchajmy więc dobrej rady i nie przeliczmy się z własnymi siłami. Gdy jednak weźmiemy pod uwagę, jaką męką było dotarcie przynajmniej do niektórych z tych miejsc – archeolog David Lewis-Williams opisuje, jak odkrywcy teraz i przypuszczalnie jaskiniowi artyści wtedy „czołgali się ponad kilometr pod ziemią wzdłuż wąskiego, absolutnie ciemnego przejścia, ześlizgiwali wzdłuż błotnistych brzegów i przepływali przez ciemne jeziorka i ukryte rzeki"[191] – określenie „sztuka jako cel sam w sobie" wydaje się mniej wiarygodne. Nawet ci z naszych starożytnych braci, którzy byli szczególnie plastycznie uzdolnieni, najprawdopodobniej wybraliby łatwiejsze sposoby zaspokojenia czysto artystycznego impulsu.

Zatem być może starożytni artyści podejmowali się magicznych ceremonii, aby polowania kończyły się sukcesem. Taką ideę promował na początku XIX wieku archeolog Salomon Reinach[192]. Czym jest mała eksploracja jaskini i malowanie w porównaniu z zapewnieniem sobie rozkosznej i tak niezbędnej kolacji?[193]Albo, jak sugerował Lewis-Williams, rozwijając wcześniejsze idee, o których pisał historyk religii Mircea Eliade, sztuka jaskiniowa być może wywodzi się z wędrówek odbywanych w szamańskich głowach. W miarę jak mity nabierały coraz większego znaczenia, szamani – duchowi przywódcy, którzy zyskali rozgłos, przekonując innych, a może i siebie samych, o swojej zdolności podróżowania do niewidzialnych dziedzin pobliskich rzeczywistości – stawali się pośrednikami między tym i innym światem. Inspiracją dla paleolitycznych obrazów mogły zatem być hipnotyczne wizje szamanów, pod wpływem których żłobili w skale wyimaginowane zwierzęta lub negocjowali z mitycznymi postaciami.

Uderzające podobieństwa między kompozycjami z różnych kontynentów i tysiącleci zdają się wskazywać jedno przekonujące wyjaśnienie sztuki jaskiniowej. A nawet jeśli jest to zbyt ambitna wizja, to istnieje jedna cecha, o której archeolog Benjamin Smith jest głęboko przekonany: „Jaskinie były czymś odmiennym od zwykłych »płócien«. Były to miejsca, w których odbywano rytuały, gdzie ludzie porozumiewali się z duchami i przodkami zamieszkującymi inną krainę, były to miejsca wypełnione znaczeniem i rezonansem”[194]. Według Smitha i wielu podobnie myślących badaczy nasi przodkowie głęboko wierzyli, że przez sztukę i rytuał mogą wpływać na duchy. Niezależnie od tego wniosku, patrząc wstecz 25, 50, może nawet 100 tysięcy lat, widzimy tylko mgliste szczegóły, zatem jest mało prawdopodobne, abyśmy kiedykolwiek z pewnością dowiedzieli się, co motywowało naszych starożytnych braci. Mimo to logiczny, chociaż niepewny obraz nabiera ostrości. Widzimy naszych przodków dokonujących ceremonialnych pochówków będących rytualnymi wyprawami do innych światów; tworzących sztukę, która wyobraża rzeczywistości będące poza zasięgiem doświadczenia; opowiadających mity, które odwołują się do duchów obdarzonych mocą, do nieśmiertelności i życia pozagrobowego – krótko mówiąc,

łączących wątki tego, co późniejsze pokolenia nazwą religią, i nie trzeba się wysilać, by dostrzec nietrwałość życia w tym splocie.

Ewolucyjne źródła religii

Czy bujna religijność starożytnych wyjaśnia masowe przyjęcie praktyk religijnych w całym świecie? Zwolennicy kognitywistyki stosowanej do religii, tacy jak Pascal Boyer, twierdzą, że tak. Jak sugeruje ten badacz, nawet w najszerszym spektrum aktywności religijnej można się dopatrzyć jednolitej podstawy ewolucyjnej:

> Wyjaśnienie przekonań i zachowań religijnych jest związane ze sposobem działania ludzkich umysłów. Naprawdę mam na myśli wszystkie ludzkie umysły, a nie tylko umysły ludzi religijnych (...) ponieważ ważne są tutaj właściwości umysłów wszystkich osobników naszego gatunku mających normalny mózg[195].

Teza polega na tym, że cechy wrodzone ludzkiego mózgu, ukształtowane w trakcie eonów bezlitosnej walki o ewolucyjną supremację, przygotowują nas do przekonań religijnych. Nie chodzi o to, że istnieją boskie geny czy religijne dendryty. Zamiast tego Boyer opiera się na wiedzy o mózgu zdobytej w ostatnich dziesięcioleciach przez kognitywistów i psychologów ewolucyjnych, która doskonali znane porównanie umysłu do komputera. Zamiast upodabniać się do komputera ogólnego przeznaczenia oczekującego na jakieś oprogramowanie nabywane przez doświadczenie, mózg przypomina komputer specjalnego przeznaczenia, który oprogramowanie sprzętowe ma zaprojektowane przez dobór naturalny, aby naszym przodkom zwiększyć szansę na przetrwanie i dać lepsze możliwości reprodukcji[196]. Programy te wspierają to, co Boyer nazywa „układami wnioskującymi", specyficzne procesy neuronowe, które są zdolne do reagowania na różnego rodzaju wyzwania – od rzucania włócznią w kierunku zwierząt odbywających rytuały godowe do tworzenia sojuszy – które decydują o tym, czyje geny pomyślnie przechodzą do następnej rundy, a czyje nie.

Kluczowe dla Boyera jest to, że układy wnioskowania z łatwością przejmują te cechy, które są nieodłącznie związane z religią.

Napotkaliśmy już jeden układ wnioskowania tego rodzaju: teorię naszego umysłu, dzięki której przypisujemy taki rodzaj sprawczości, jakiej doświadczamy wewnętrznie, bytom napotykanym w świecie zewnętrznym. Adaptacyjnie korzystna tendencja do przypisywania nadmiernej sprawczości wyjaśnia, dlaczego tak łatwo wyobrażamy sobie nasze otoczenie – czy to podziemne, czy to w niebie – jako zamieszkane przez bacznie obserwujące umysły. Wśród innych układów wnioskowania znajdują się nasze intuicyjne ujęcie psychologii i fizyki: bez formalnego wykształcenia wszyscy rozumiemy, jakie są podstawowe możliwości umysłu i ciała. Połączmy te układy wnioskowania z naszym zamiłowaniem do minimalnie sprzecznych z intuicją koncepcji (przypomnijmy sobie, że są to koncepcje, które zakłócają niewielką liczbę naszych intuicyjnych wymagań) i nie będzie wielką tajemnicą, dlaczego interesujemy się takimi pomysłami jak duchy i bogowie (byty obdarzone umysłami podobnymi do ludzkich, ale różniące się swoją cielesnością i mocami, zarówno psychicznymi, jak i fizycznymi). Normalne umysły mają również społeczne układy wnioskowania, które na przykład śledzą związki wzajemne, zapewniając ich posiadaczowi równe traktowanie. Jeśli zrobię coś dla ciebie, będziesz musiał zrobić coś dla mnie i nie myśl sobie, ja będę o tym pamiętał. Ta odmiana altruizmu odwzajemnionego może być źródłem transakcyjnej natury związków wyznawców z istotami nadprzyrodzonymi, licznie występującymi w wielu kultach religijnych: poświęcę się tobie, będę się modlił, będę czynił dobro, ale w jutrzejszym boju osłaniaj mnie. Z kolei kiedy dzieje się zło, zbyt prędko przypisujemy je indywidualnemu lub zbiorowemu niespełnianiu boskich wymagań.

W swojej książce *Religion Explained* (Wyjaśnienie religii) Boyer w pełni rozwija te idee; inni uczeni badali bardzo podobne tematy[197]. Jednak mój szkic przedstawia istotę podejścia do zagadnienia: rozwój mózgu był kształtowany przez walkę o przetrwanie, a mózg zwycięski, który się z niej wyłonił, ma cechy pozwalające mu przyjąć religię z otwartymi ramionami. Jest to przykład tego, co wcześniej

określiłem jako pakiet ewolucyjny. Predylekcja do wiary religijnej może nie mieć własnej wartości adaptacyjnej, ale jest częścią kompletu innych cech mózgu, które zostały wyselekcjonowane ze względu na ich funkcje adaptacyjne. Nie oznacza to, że wszyscy będziemy bardziej religijni ani że nasz wyselekcjonowany w doborze naturalnym apetyt na słodycze oznacza, że wszyscy będziemy się rozkoszować pączkami z lukrem. Oznacza tylko to, że układy wnioskowania są szczególnie wrażliwe na te rodzaje cech, które pojawiają się w religiach świata. Rzeczywiście, taki rezonans jest właśnie powodem utrzymywania się tych cech w religiach świata. Czy to upiory, czy bogowie, demony czy diabły, święci czy dusze, religijna metaforyka jest wirtuozowskim przewodnikiem rozwoju ludzkiego umysłu. Nie lekceważymy ich, uwzględniamy ich rady, nadajemy im rozgłos, a tym samym zostają one szeroko rozprzestrzenione[198].

Czy to wszystko? Przetrwanie najodpowiedniejszych wśród naszych umysłów i łatwość zaszczepienia odpowiednio dostosowanym umysłom wrażliwości religijnej? A co z wyobrażeniem roli, jaką religia musiała odgrywać (i dla wielu nadal odgrywa) w wyjaśnianiu pozornie niewyjaśnialnego: od pochodzenia życia i Wszechświata do znaczenia śmierci? Boyer i wielu innych, którzy prezentują podobne poglądy, nie negują roli religii w zajmowaniu się tymi kwestiami, ale twierdzą, że takie rozważania są niewystarczające do wyjaśnienia, dlaczego religia powstała i dlaczego ma takie cechy, jakie ma. Umysł ludzki jest niewygodnym problemem, a bez skupienia się na naturze jego rozwoju pomijamy dominującą siłę.

Argumenty przytoczone przez Boyera i innych badaczy są wnikliwe i przekonujące, ale jak w przypadku wszystkich teorii dotyczących bardzo złożonego zagadnienia mózgu, umysłu i kultury, trudno jest dojść do ostatecznych wniosków, które przekonają wszystkie współczesne umysły, a przynajmniej te, które uważnie badają omawiane kwestie. Co więcej, nawet jeśli nauce kognitywnej o religii uda się ujawnić, że mamy wrodzoną podatność na myślenie religijne, pozostaje jeszcze wiele miejsca na to, by religia była czymś więcej niż tylko ewolucyjnym dodatkiem, więcej niż tylko produktem ubocznym wcześniejszych procesów adaptacji poznawczej. Jak

argumentowali inni badacze, religia może być wszechobecna, ponieważ wniosła własny wkład w nasze zdolności adaptacji.

Poświęcenie dla grupy

W miarę rozrostu klanów plemiona łowców-zbieraczy stanęły przed istotnym problemem. Jak zapewnić współpracę i lojalność wśród coraz bardziej rozrastającego się zbioru jednostek? W odniesieniu do grup krewnych pomysł pochodzący od Darwina i rozwijany w kolejnych dekadach przez wielu renomowanych naukowców, w tym Ronalda Fishera, J.B.S. Haldane'a i W.D. Hamiltona, jest taki, że ewolucja przez dobór naturalny rozwiązuje to zagadnienie bez problemu[199]. Jestem lojalny wobec mojego rodzeństwa, moich dzieci i innych bliskich krewnych, ponieważ znacząca część naszych genów jest wspólna. Ratując moją siostrę przed szarżującym słoniem, zwiększam prawdopodobieństwo, że segmenty genetyczne identyczne z moimi utrzymają się i będą przekazywane kolejnym pokoleniom. Nie żebym musiał o tym wiedzieć. I podczas mojego walecznego wyczynu na pewno nie obliczam względnej obfitości przyszłej puli genów. Jednak w standardowej darwinowskiej logice instynktowna skłonność do ochrony krewnych, a nawet poświęcenia dla grup krewnych zostanie wyselekcjonowana w doborze naturalnym, wspierając kontynuację takiego zachowania w potomstwie, które będzie dzielić ze mną znaczny procent mojego profilu genetycznego. Rozumowanie jest proste, ale nasuwa pytanie. Czy kiedy grupy są liczniejsze niż tylko sami krewni, istnieje genetyczna marchewka, która dzierży kij współpracy?

Gdybyście znaleźli sposób zmuszenia mnie do myślenia lub przynajmniej zachowania się tak, jakby członkowie większej grupy byli częścią mojej wielkiej rodziny, problem mógłby zostać rozwiązany. Ale jak tego dokonać? Wcześniej mówiliśmy o tym, jak opowieść, umożliwiając rozumienie innych umysłów, ułatwiała nam wspólne życie. Niektórzy badacze, w tym biolog ewolucyjny David Sloan Wilson, rozwijający idee, których mistrzem na przełomie XIX i XX wieku był socjolog Émile Durkheim, rozszerzają tę adaptacyjną

rolę znacznie dalej[200]. Religia *jest* opowieścią, wzmocnioną doktrynami, rytuałami, zwyczajami, symboliką, sztuką i normami zachowania. Nadając aurę świętości takim działaniom i ustanawiając emocjonalną im wierność wśród praktykujących je, religia rozszerza pojęcie pokrewieństwa. Zapewnia ona członkostwo niepowiązanym genetycznie osobom, które mają poczucie przynależności do silnie związanej grupy. Mimo że nasze genetyczne pokrewieństwo jest minimalne, jesteśmy predestynowani do wspólnej pracy i ochrony wzajemnej ze względu na nasze związki religijne.

Taka współpraca ma znaczenie. Głębokie. Jak widzieliśmy, człowiek w dużym stopniu zwyciężył, ponieważ nasz gatunek ma zdolność do łączenia w sobie mózgu i tężyzny fizycznej, do życia i pracy w grupach, do podziału obowiązków i skutecznego zaspokajania wspólnych potrzeb. Większa spójność społeczna grupy związanej religijnie uczyniła z niej ogromną siłę w świecie przodków i zgodnie z tą linią argumentacji przynależności religijnej zapewniła adaptacyjną rolę w przetrwaniu.

Jest to punkt widzenia dyskutowany od dziesiątków lat. Niektórzy badacze załamują ręce za każdym razem, gdy ktoś w kółko przywołuje spójność grupową jako wyjaśnienie ewolucyjne, banalizując ją jako wyjście awaryjne dla domniemanych prospołecznych zachowań, których adaptacyjna wartość okazała się trudna do określenia[201]. Co więcej, adaptacyjna wartość współpracy sama w sobie jest złożonym zagadnieniem: w każdej grupie osób współpracujących egoistyczni członkowie mogą ograć ten układ. Korzystając z przyjaznych towarzyszy, egoistyczne jednostki mogą uzyskać nienależny przydział zasobów i w ten sposób niesprawiedliwie zwiększyć prawdopodobieństwo przetrwania i reprodukcji. Gdy przekażą swoje samolubne skłonności, ich potomstwo będzie miało tendencję do robienia tego samego, z czasem doprowadzając swoich zaufanych towarzyszy – wraz z ich religijną wrażliwością – do wyginięcia. To tyle na temat adaptacyjnego zamachu stanu na religię.

Zwolennicy religijnych podstaw spójności społecznej uznają tę kwestię, ale podkreślają, że jest to tylko część prawdy. W ramach grupy współpracujących osobników samolubni dywersanci

z pewnością wygrają. Natomiast grupy wspólnie pracujące – łowcy-zbieracze w plejstocenie – nie były izolowane. Współdziałały. Walczyły. A według jednego ze znalezisk archeologicznych ich potyczki były śmiertelne. Zbiorowisko współdziałających osobników, z których każdy działa dla dobrobytu grupy, zajmowałoby się poprawą swego bytu. Jak ujął to sam Darwin: „Kiedy dwa plemiona praludzkie, zamieszkujące te same ziemie, zaczęłyby ze sobą rywalizować i jeśli (w takich samych okolicznościach) w jednym plemieniu byłaby większość osobników odważnych, życzliwych sobie i wiernych, którzy zawsze są gotowi ostrzegać się nawzajem przed niebezpieczeństwem, pomagać i bronić się nawzajem, to plemię takie odniosłoby większy sukces i podbiło to drugie”[202]. Ponadto ci, których pomoc była inspirowana poświęceniu się zmarłym przodkom lub czuwającym bóstwom, byliby jeszcze bardziej niezawodni i jeszcze gorliwiej zaangażowani we wspólną sprawę[203]. Aby ustalić, które cechy genetyczne przewinęły się szeroko przez pulę genów, musimy wziąć pod uwagę nie tylko dynamikę wewnątrzgrupową, faworyzującą egoizm, lecz także dynamikę międzygrupową, sprzyjającą współpracy. Jeśli założymy, że w wielu tysiącach pokoleń sukces międzygrupowy zdominował rachunek przetrwania, oddanie grupie miałoby wielki wpływ, a tym samym zatriumfowałaby społeczna spójność religii.

Wyobrażone w ten sposób zwycięstwo pozostaje niepewne, ponieważ zależy właśnie od tego założenia – dominacji czynników kształtujących współpracę między grupami nad czynnikami kształtującymi współpracę wewnątrz grupy – i daleko do tego, aby przekonało wszystkich, że daje ono dokładny obraz życia i śmierci w całej naszej łowiecko-zbierackiej przeszłości. Wyjaśnienie zachowań kooperacyjnych, dodając dalszej śmiałości sceptykom, może wyłonić się z bardziej przyziemnych rozważań opartych na matematycznej teorii gier. Pomiędzy skrajnymi zachowaniami, egoistycznym i bezinteresownym, istnieje niezliczona liczba strategii, które może realizować pojedynczy członek grupy. Być może skłaniam się ku bezinteresowności, ale jeśli wejdziesz mi w drogę zbyt wiele razy, moja egoistyczna natura zapała zemstą. A gdy już utracisz moje zaufanie, być może nigdy nie dam ci kolejnej szansy – ale

może jeśli wyświadczysz mi kilka przysług, to dam ci szansę na jego odzyskanie. I tak dalej. A co się dzieje w dużej grupie składającej się z jednostek stosujących najróżniejsze strategie? Cóż, różne strategie współpracy dają różny efekt w dziele przetrwania i dlatego z pokolenia na pokolenie same będą podlegać darwinowskiej selekcji. Wykorzystując metody matematyczne i symulacje komputerowe, badacze zestawili ze sobą różne strategie i odkryli, że szczególnie jedna z nich – „Będę robić dla ciebie coś dobrego dopóty, dopóki w zamian będziesz robić coś dobrego dla mnie, ale gdy zrobisz coś podstępnego, ja szybko wezmę na tobie odwet" – niezawodnie przewyższa inne, także te o wiele bardziej egoistyczne. Teoretyczna analiza sugeruje więc, że tego rodzaju warunkowa współpraca pomaga w przetrwaniu[204]. Ukazuje to krytykom, że współpraca może powstać organicznie i rozprzestrzeniać się drogą doboru naturalnego bez konieczności wyznawania jej przez uczestników wspólnej religii.

Po dziesięcioleciach sporów niektórzy badacze twierdzą, że te różnice zdań zostały w końcu rozstrzygnięte, ale ponieważ takie oceny zostały wystawione przez zwolenników obu stron, rola religii jako kleju społecznego w plejstocenie organizującego przetrwanie nadal nie osiągnęła konsensusu. Jest to złożony problem. Wiążąc między innymi nęcącymi cechami urok opowieści, skłonność do nadawania sprawczości, wsparcie duchowe rytuału, głód wyjaśnień, bezpieczeństwo wspólnoty, poznawczy urok przeciwstawiania się przewidywaniom, religia jest bogatym i zawiłym wytworem człowieka, którego geneza pochodzi z czasów tak odległych, że niepodważalne dane, od starożytnych praktyk do konfliktów w obrębie grupy, nieczęsto udaje się odnaleźć. Bez wątpienia więc ta debata będzie nadal kontynuowana.

Inną możliwością jest to, że w ocenie potencjalnej adaptacyjnej funkcji religii argument o spójności grupy jest istotną częścią sporu, której brakuje. Różni badacze sugerują, że adaptacyjny wpływ religii jest najbardziej oczywisty na poziomie jednostki.

Adaptacja indywidualna i religia

Podczas naszych dywagacji nad pochodzeniem języka jedna z propozycji określała rolę plotki w utrzymaniu hierarchii i wspieraniu sojuszy. W epoce nowożytnej taka rozmowa może być postrzegana jako ulotna, ale psycholog Jesse Bering umieszcza plotki jako ogniwo adaptacyjnej roli religii w świecie starożytnym. Zanim zdobyliśmy zdolność mówienia, łotr pośród nas mógł źle się prowadzić – kradł jedzenie, wykorzystywał naszych partnerów seksualnych, trzymał się z boku podczas polowania – ale jeśli świadków przestępstwa było mało i mieli niski status społeczny, delikwent mógł ujść bez szwanku. Kiedy język już się utrwalił, to się zmieniło. Nawet po jednym, ale szeroko dyskutowanym wykroczeniu reputacja delikwenta ucierpiałaby, a możliwości reprodukcyjne spadły. Sugestia Beringa jest taka, że gdyby niedoszły przestępca wyobrażał sobie, iż zawsze istnieje potężny świadek – unoszący się na wietrze, istniejący w drzewach lub w niebie – byłby mniej skłonny do łamania praw, mniej skłonny do narażenia się na niepochlebne plotki i mniej skłonny do podjęcia ryzyka, że stanie się społecznym wyrzutkiem. W konsekwencji jest bardziej prawdopodobne, że będzie miał potomstwo i przekaże swój bogobojny instynkt. Predyspozycje religijne chronią jego linię genetyczną i w ten sposób się utrwalają[205].

Dowody potwierdzające pochodzą z eksperymentów wykonanych przez Beringa, w których dzieciom zadano trudne zadanie, a następnie pozostawiono same, by je wykonały. Gdy zabrakło nadzoru, naukowcy otrzymali to, czego mogli się spodziewać. Wiele dzieci oszukiwało. Jednak te, którym wmówiono, że w pomieszczeniu znajduje się niewidzialny świadek, przyjazna, ale w pełni uważna obecność, były o wiele bardziej skłonne do przestrzegania zasad. Dotyczy to nawet tych dzieci, które twierdziły, że nie wierzą w obecność niewidzialnej istoty. Wniosek Beringa jest taki, że młody umysł jako bardziej otwarty na naszą wrodzoną ludzką naturę w porównaniu ze starszymi umysłami, które uległy większym wpływom kulturowym, jest predysponowany do działania pod wyimaginowanym nadzorem monitorującym jego zachowanie. W czasach starożytnych właśnie to sprzyjało zachowaniom prospołecznym, które chroniły reputację, zwiększały możliwości

reprodukcyjne i które tym samym rozprzestrzeniały dalej torowanie wrażliwości religijnej.

Inną adaptacyjną rolę religii rozważali eksperymentalni psycholodzy społeczni, przez dziesięciolecia promujący wizję Ernesta Beckera, którego dzieło *Denial of Death* (Zaprzeczenie śmieci) wyznaczyło nam drogę w rozdziale 1. Badacze ci twierdzą, że strach przed wiedzą o śmierci „uczyniłby naszych przodków konglomeratem trzęsącej się protoplazmy biologicznej, szybko obracającej się w nicość”[206]. Jak sugerują, uratować mogła nas tylko obietnica życia poza fizyczną śmiercią, dosłowna lub symboliczna. Sam Becker przekonywał, że zajmowanie się świadomością śmierci przez odwoływanie się do mocy nadprzyrodzonych było cudowną ludzką innowacją. Złagodzenie cierpienia z powodu przemijania wymaga ukojenia bezwarunkowego i trwającego w sposób nieograniczony, czegoś niemożliwego do osiągnięcia w realnym świecie rzeczy materialnych.

Przyznaję, że trudno pojąć wizerunek naszych krzepkich przodków skulonych na sawannie pod wpływem paraliżu wywołanego lękiem. Jednak dzięki sprytnym eksperymentom psychospołecznym naukowcy twierdzą, że nawet teraz w epoce nowożytnej jesteśmy w sposób oczywisty jednak bezwiednie dotknięci świadomością śmierci. W jednym z takich eksperymentów sędziowie z Arizony mieli za zadanie wyznaczenie grzywny dla oskarżonych o wykroczenie. W pisemnych instrukcjach, które wręczono sędziom, zawarto standardowy kwestionariusz profilu osobowości, połowie z nich zadano kilka dodatkowych pytań, które wymagały zastanowienia się nad własną śmiertelnością (na przykład: Jakie emocje budzi w tobie myśl o śmierci?). Badacze przewidywali, że skoro kodeks prawny jest częścią wspólnych wysiłków społeczeństwa na rzecz kontroli nad skądinąd anarchiczną rzeczywistością – stanowi szaniec przeciwko niebezpieczeństwom czającym się tuż poza granicami cywilizacji – to sędziowie, którym przypomniano o największym dla nich niebezpieczeństwie, utracie własnego życia, będą bardziej stanowczo egzekwować prawo. Przewidywania okazały się trafne. Nawet jednak badacze uznali różnicę w kwotach grzywien orzekanych przez obie grupy sędziów za niezwykłą. Grzywny orzekane przez sędziów

kierowanych bodźcem o własnej śmiertelności były przeciętnie *dziewięć* razy wyższe niż te orzekane przez grupę kontrolną[207].

Jak podkreślają badacze, jeśli na dobrze wyszkolony umysł prawniczy, przesiąknięty standardami obiektywnej bezstronności, taki wpływ może mieć nieznaczna aluzja o świadomości śmierci, to powinniśmy się dobrze zastanowić, zanim odrzucimy myśl, że sami nie jesteśmy stymulowani podobnym, lecz równie skrytym bodźcem. Faktycznie, setki kolejnych badań (na różnych podmiotach, z różnych krajów pochodzenia, z różnymi zadaniami do wykonania, różnym sposobem stymulowania świadomości śmiertelności i tak dalej) pokazały, że wpływ ten można ujawnić i zmierzyć, od kabiny do głosowania przez ksenofobiczne uprzedzenia po twórczą ekspresję i przynależność religijną[208]. Becker utrzymywał, a badania te to potwierdzają, że ewolucja kultury po części miała na celu złagodzenie potencjalnie destrukcyjnych skutków wywoływanych świadomością śmierci. W związku z tym jeśli drwisz z takiej możliwości, to tylko dlatego, że kultura wykonuje swoje zadanie.

Pascal Boyer, od którego rozpoczęliśmy nasze rozważania na temat ewolucyjnych korzeni religii, odrzuca tę rolę religii, zauważając, że „świat religijny jest często tak samo przerażający jak świat bez nadprzyrodzonych mocy, a wiele religii nie daje pokrzepienia, lecz pogrąża wyznawców w całunie mroku”[209]. Jednak zamiast wzmacniać grzechoczący worek kości w duchu zwolenników Beckera lub rzucać cień na jego oddanych wyznawców, Boyer przewidział, że religijna wrażliwość mogła przynieść skromniejsze korzyści mniej przygnębionemu pacjentowi. Być może starożytna działalność religijna oświetlała śmierć łagodniejszym światłem i umieszczała codzienne doświadczenie w trwalszej rzeczywistości – to korzystna konsekwencja doświadczenia religijnego, które William James określił jako dające „gwarancję bezpieczeństwa i dobry nastrój” oraz aplikujące „nowy zapał, który życie dostaje w prezencie, przybierający postać albo lirycznego oczarowania, albo żarliwości i heroizmu”[210].

Najwyraźniej nie ma jeszcze konsensusu co do tego, dlaczego powstała religia i dlaczego tak uparcie trwa. I to nie z powodu braku pomysłów: mamy wszak przeciągnięcie na swoją stronę

wyewoluowanego w doborze naturalnym mózgu, tworzenie spójności grupy, uspokajanie egzystencjalnego niepokoju, ochronę reputacji i możliwości reprodukcyjnych. Zapis historyczny może być dla nas zbyt niejednolity, aby można było kiedykolwiek to ostatecznie wytłumaczyć; religia może odgrywać zbyt różne role, aby poddać się wszechstronnym wyjaśnieniom. Jak podsumował to Stephen Jay Gould, „duży mózg pozwolił nam poznać (...) nieuchronność naszej śmiertelności[211] (…) i cała religia zaczęła się od świadomości śmierci”[212]. Jednak to, czy religia wzięła wtedy górę, ponieważ przekształciła tę świadomość w adaptacyjną przewagę, jest zupełnie inną kwestią.

Kunsztowne uporządkowanie mózgu pozwala mu na wywoływanie wielu myśli i działań, niektórych bezpośrednio związanych z przetrwaniem, innych nie. Istotnie, to właśnie ta zdolność, nasz rozległy repertuar zachowań, stanowi podstawę różnych rodzajów ludzkiej wolności, o której mówiliśmy w rozdziale 5. Niepodważalny jest jednak fakt, że dzięki takim działaniom religia niezłomnie trwa, tworząc w ciągu tysiącleci instytucje, których wpływy ogarniają całą naszą planetę.

Pokrótce o korzeniach religii

W pierwszym tysiącleciu p.n.e. w Indiach, Chinach i Judei wytrwali i pomysłowi myśliciele ponownie zbadali starożytne mity i sposoby bycia, wśród innych nowości tworząc to, co filozof Karl Jaspers określił „początkami religii świata, dzięki którym ludzkie istoty wciąż żyją”[213]. Naukowcy debatują nad określeniem, jak bardzo są ze sobą powiązane te odległe wydarzenia, ale istnieje zgoda co do wyniku. Systemy religijne stawały się coraz bardziej zorganizowane, gdy wyznawcy zapisywali opowieści, gromadzili spostrzeżenia i tworzyli wytyczne, które wygłaszane przez proroków i przekazywane ustnie z pokolenia na pokolenie zdobywały znamię świętości. Oczywiście występuje wielkie zróżnicowanie treści powstałych tekstów, ale łączy je fascynacja tymi zagadnieniami, które opisywałem na stronach tej książki: Skąd się wzięliśmy? I dokąd zmierzamy?

Do najwcześniejszych zachowanych zabytków piśmiennictwa należą Wedy, napisane na subkontynencie indyjskim w sanskrycie, z fragmentami, które pochodzą już z 1500 roku p.n.e. Wraz z Upaniszadami, bogatym zbiorem komentarzy napisanych prawdopodobnie po VIII wieku p.n.e., Wedy są obszernym zbiorem wierszy, mantr i prozy, które stanowią święte teksty tego, co stało się religią hinduską – obecnie praktykowaną przez co siódmego mieszkańca Ziemi, około 1,1 miliarda ludzi. Zanim skończyłem dziesięć lat, miałem osobisty kontakt z tymi dziełami.

Było to pod koniec lat sześćdziesiątych. Pokój, miłość i Wietnam były w powietrzu, gdy razem z ojcem i siostrą spacerowaliśmy w jasny, słoneczny dzień po Central Parku. Zatrzymaliśmy się w Naumburg Bandshell tuż obok Poet's Walk, gdzie zgromadzenie wyznawców Hare Kriszny energicznie bębniło, śpiewało i tańczyło. Jeden z nich, o wyłupiastych oczach pełnych łez, był w stanie namiętnej astralnej komunii, drgając w rytmie i wpatrując się w wielkim skupieniu w słońce. Doznałem szoku, przynajmniej ja, gdy nagle zdałem sobie sprawę, że jednym z bębniarzy, ubranym w powiewne szaty, z ogoloną głową poza jednym tufem na szczycie, był mój brat. Myślałem, że wyjechał na studia. Ten wypad do parku był najwyraźniej sposobem mojego ojca na wprowadzenie nas w nowy wymiar życia brata.

W następnych latach kontakty z bratem miały charakter epizodyczny, ale przy każdym spotkaniu Wedy były albo w centrum uwagi, albo krążyły w pobliżu. Trudno powiedzieć, czy te spotkania wzbudziły moje zainteresowania, czy też te rozmowy w sposób naturalny odbywały się pomiędzy rodzeństwem zadającym sobie podobne pytania, lecz badającym zjawisko z bardzo różnych perspektyw. Z pewnością wzbogacało mnie poznawanie starożytności i nieznanych mi przemyśleń o początkach Wszechświata:

> Ongiś niebytu nie było, ni nie było bytu.
> Nie było przestworu, ni niebios powyżej.
> Czy coś się poruszało? A gdzie? A w czyjej pieczy?
> Czy była woda – tajnia niezgłębiona?

Nie było śmierci ni nieśmiertelności.
I znamion nocy i dnia nie było.
To Jedno z własnej woli bezwietrznie oddychało.
A poza nim niczego innego nie było[214].

Poruszyła mnie uniwersalność ludzkiej potrzeby odczuwania rytmów rzeczywistości. Natomiast dla mojego brata Wedy były czymś więcej. Mnie dały znacznie szerszą wizję kosmologii niż matematyka. Ich poetyckie słowa umiejętnie uchwyciły tajemnicę tego, co było wstępem do początku. Jako metafora poruszają budzącą konsternację naturę czasu przed czasem. Jako przedmiot medytacji, być może podczas wspólnego zgromadzenia się wokół trzaskającego ognia pod budzącym respekt, ale całkowicie tajemniczym, czarnoniebieskim sklepieniem zapełnionym gwiazdami, wersy wyrażają pozorny paradoks, że Wszechświat w ogóle może istnieć. Z kolei starożytne hymny i wiersze, pomysłowe opowieści o tysiącgłowej Puruszy rozczłonkowanej, by stworzyć Słońce, Ziemię i Księżyc, jak również wiele innych sugestywnych i wzniosłych ofiar, nie tłumaczą początku Wszechświata. Słowa te odzwierciedlają nasze poszukujące wzorców, łaknące wyjaśnień, nastawione na przetrwanie umysły tworzące żywą opowieść, która ma zakreślić symboliczne ramy życia – jak powstaliśmy, jak powinniśmy się zachowywać, jakie są konsekwencje naszych działań oraz istota życia i śmierci. Dzięki tym sporadycznym braterskim kontaktom jasny stał się dla mnie fakt, że Wedy poszukują czegoś stabilnego, jakiejś stałej jakości, leżącej u podstaw ruchomych piasków znanej rzeczywistości. Jest to opis, którego ja i wielu moich kolegów chętnie użylibyśmy, charakteryzując zadania fizyki podstawowej. Dyscypliny te podzielają wspólne pragnienie wyjścia poza zjawiska znane z codziennego doświadczenia. Jednak charakter wyjaśnień, uważanych przez każdą z tych dyscyplin za zdolne do dokonania postępu, jest całkowicie odmienny.

W połowie VI wieku p.n.e. Siddhārtha Gautama, książę urodzony w dzisiejszym Nepalu, wychowany na studiowaniu Wed, doznał załamania, gdy uświadomił sobie własne życie w luksusie kontrastujące z udręką tych, którzy wiedli skromną egzystencję. Jak

głosi słynna historia, Gautama zrezygnował z przywilejów i przemierzał świat w poszukiwaniu sposobu na ulżenie ludzkiemu cierpieniu. Jego spostrzeżenia, rozwinięte i rozpowszechniane przez wyznawców po jego śmierci, tworzą buddyzm, praktykowany obecnie przez około pół miliarda ludzi (co dwunastego z mieszkańców Ziemi). W miarę rozprzestrzeniania się myśli buddyjskiej rozwinęły się liczne sekty, ale wszystkie podzielają przekonanie, że percepcja jest iluzorycznym przewodnikiem po rzeczywistości. Istnieją cechy świata, które mogą wydawać się stabilne, ale w rzeczywistości wszystko zawsze się zmienia. Odchodząc od swoich wedyjskich korzeni, buddyzm zaprzecza, że istnieje niezmienne podłoże, które jest podstawą istnienia, i przypisuje początki ludzkiego cierpienia niepowodzeniu w rozpoznaniu zmienności wszystkiego. Nauki Buddy nakreślają sposób życia, który obiecuje nieskażony, wyraźny punkt widzenia prawdy, i tak jak w przypadku Wed, droga do takiego oświecenia wymaga cyklu reinkarnacji, które kończą się osiągnięciem stanu wiecznej błogości wykraczającej poza pragnienie, poza cierpienie i poza własne ja. Jeśli wcześniejsze ludzkie wyobrażenia krain, w których następuje kontynuacja ziemskiego życia, były niezwykłym mentalnym rozwiązaniem zagadki śmiertelności, to hinduska i buddyjska postawa wobec tego zagadnienia jest jeszcze bardziej niezwykła. Śmierć jest wyobrażana jako nowy początek w cyklicznym procesie, którego celem jest ostateczne i trwałe uwolnienie się od życia. Zakończenie cykli, raz osiągnięte, prowadzi do dominium, w którym zanika pojęcie odrębnej egzystencji. Nasza tymczasowość staje się świętym obrzędem przejścia na drodze do wieczności.

Ponieważ hinduizm i buddyzm poszukują rzeczywistości wykraczającej poza iluzje codziennej percepcji, charakterystyki, która opisuje również wiele najbardziej zaskakujących osiągnięć naukowych ostatnich stu lat, powstały artykuły, książki i filmy, które rzekomo nawiązują do współczesnej fizyki. Chociaż można znaleźć podobieństwa w punkcie widzenia i języku, nigdy nie spotkałem się z czymś więcej niż tylko metaforycznym rezonansem pomiędzy różnymi, niejasno skonstruowanymi ideami. Zamieszczane w popularnych publikacjach opisy współczesnej fizyki, zarówno moje,

jak i innych autorów, zwykle unikają matematyki na rzecz bardziej przystępnych wyjaśnień, ale matematyka jednoznacznie jest kotwicą nauki. Słowa, choćby starannie dobrane, to tylko tłumaczenie równań. Powoływanie się na takie tłumaczenia jako podstawy kontaktu z innymi dyscyplinami prawie nigdy nie wzniesie się ponad poziom poetyckiej inspiracji.

Ten osąd jest zgodny z przynajmniej niektórymi czołowymi głosami dyscyplin duchowych. Kilka lat temu zostałem zaproszony do udziału w forum z Dalajlamą. Podczas dyskusji zauważyłem przewagę liczebną książek wyjaśniających, jak współczesna fizyka podsumowuje odkrycia dokonane na Dalekim Wschodzie tysiące lat temu, i zapytałem Dalajlamę, czy uważa te twierdzenia za słuszne. Jego szczera odpowiedź wywarła na mnie duże wrażenie: „Jeśli chodzi o świadomość, buddyzm ma coś ważnego do powiedzenia. Ale jeśli chodzi o rzeczywistość materialną, musimy zwracać się do ciebie i twoich kolegów. Jesteście tymi, którzy docierają głęboko”[215]. Pamiętam, że pomyślałem, jak wspaniale byłoby, gdyby przywódcy religijni i duchowi na całym świecie wzięli za przykład jego prostotę, nieustraszoność i uczciwość.

Mniej więcej w tym samym czasie kiedy Budda wędrował po Indiach, lud żydowski w Królestwie Judy był prześladowany przez Babilończyków i został wygnany. Starając się skodyfikować swoją tożsamość, żydowscy przywódcy gromadzili rozbieżne pisemne relacje i nadzorowali transkrypcję ustnych historii, uzyskując wczesne wersje hebrajskiej Biblii – dokumentu, który nadal będzie się rozwijał i stanie się świętym tekstem religii Abrahama, obecnie praktykowanej przez więcej niż jednego na dwóch mieszkańców Ziemi, około czterech miliardów ludzi[216]. Bóg judaizmu, chrześcijaństwa i islamu jest wszechmocnym, wszechwiedzącym, wszechobecnym, jedynym w swoim rodzaju twórcą wszystkiego – koncepcją, która dla wielu ludzi na całym świecie stanowi dominujący obraz, jaki u nich wywołuje rozmowa, świecka lub sakralna, o religii.

Stary Testament opowiada własną, powszechnie znaną historię pochodzenia. No cóż, właściwie to opowiada dwie takie historie. Pierwsza obejmuje sześć dni, zaczyna się od stworzenia nieba

i ziemi, a kończy na powołaniu do życia mężczyzny i kobiety; druga obejmuje tylko jeden dzień i mężczyznę stworzonego wcześniej; podczas jego pierwszej drzemki na scenie pojawia się kobieta. Pokolenia szybko następują po sobie, ale Stary Testament nie mówi otwarcie o tym, dokąd udają się bohaterowie po śmierci. Z wyjątkiem kilku krótkich odniesień do zmartwychwstania nie ma ani słowa o życiu pozagrobowym. Żydowscy mistycy i interpretatorzy rozwinęli potem liczne idee wiążące się z nieśmiertelnymi duszami oczekującymi na inny świat, ale nie ma jednej interpretacji, która pogodziłaby niezliczone źródła i komentarze. Pół tysiąca lat później ta niepewność została zlikwidowana, gdy chrześcijaństwo rozwinęło doktrynę teologiczną zakładającą dusze wieczne, które utrzymują własną tożsamość daleko poza swoim czasem na Ziemi. Pięćset lat później islam wprowadził własny, szczegółowy zbiór zasad wiary, podejmując podobne problemy, zgadzając się z chrześcijaństwem w oddawaniu czci zbliżającemu się dniu sądu ostatecznego, kiedy umarli zostaną wskrzeszeni, a ci uznani za godnych otrzymają wieczną niebiańską nagrodę, podczas gdy wszyscy inni będą wiecznie potępieni.

Tych kilka religii, których krótkiego przeglądu dokonaliśmy, wyznaje więcej niż trzech na czterech mieszkańców naszej planety. W konsekwencji istnienia miliardów wyznawców charakter i styl zaangażowania religijnego jest bardzo zróżnicowany i jeśli uwzględnimy ponad cztery tysiące mniejszych religii obecnie praktykowanych na całym świecie, zakres zaangażowania i specyfika treści doktrynalnych poszerza się jeszcze bardziej. Mimo to istnieją wspólne cechy, takie jak wywyższone postaci, które widziały dalej lub miały dostęp do opowieści wyjaśniających, jak to wszystko się zaczęło i jak się skończy, dokąd wszyscy pójdziemy i jak najlepiej się tam dostać. Jeszcze większe jest powszechne oczekiwanie, że wyznawcy przyjmą religijny sposób myślenia. Świat jest pełen opowieści, które mogą informować, jak żyć. Świat jest pełen wypowiedzi, które mogą wskazywać, jak się zachowywać. Te opowieści i wypowiedzi, które są związane z doktryną religijną, wyniesiono ponad wszystkie inne, ponieważ w umyśle wiernego stwarzają pewne urozmaicenie *wiary*.

Pragnienie wiary

Kilka lat temu, gdy w pośpiechu kończyłem chaotycznie pewien projekt, otrzymałem zaproszenie do wygłoszenia przemówienia programowego na spotkaniu w stanie Waszyngton. Całkiem rozkojarzony przyjąłem zaproszenie, nie upewniając się, czy organizacja jest odpowiednio sprawdzona. Kilka miesięcy później, kiedy zbliżało się moje wystąpienie, zdałem sobie sprawę, że mam je wygłosić w Szkole Oświecenia Ramthy, organizacji kierowanej przez Judy Zebrę Knight, twierdzącą, że przemawia przez nią duch mającego 35 tysięcy lat wojownika Ramthy, wywodzącego się z zaginionej ziemi Lemurii (która, jak się wydaje, często była w stanie wojny z zaginioną Atlantydą). Po krótkim wyszukiwaniu pojawiły się klipy wideo, w tym jeden ze starego odcinka *The Merv Griffin Show*, w którym Knight odrzuca głowę do tyłu, potem nagle pochyla ją do przodu, wpada w trans, ścisza głos, zaczyna mówić z taką manierą jak Yoda z Królową i chciałaby, abyśmy uwierzyli, że wciela się w lemuryjskiego mędrca. Moja mała córeczka, zaglądając mi przez ramię, powstrzymywała się od chichotu. Nie udało jej się. Ja też bym chichotał, gdybym nie był upokorzony tym, że przyjąłem zaproszenie. A to się wydarzyło na dzień przed prezentacją, za późno, by się elegancko z niej wycofać.

Po przybyciu mój pierwszy kontakt to setki osób z zasłoniętymi oczami i wyciągniętymi rękami, wszyscy kręcący się wokół dużego trawnika. Mój przewodnik wyjaśnił, że każdy z nich na kartce zapisał marzenie swego życia, a za zadanie mieli „poczuć" swoją drogę do identycznej kartki, która została ukryta gdzieś w trawie. Zauważył przy tym, że sukces jest kluczowym krokiem w kierunku zapewnienia realizacji tego marzenia. „Jak wam idzie?" – zapytałem. „Och, cudownie. Już na tej sesji jedna z uczestniczek znalazła swoją pasującą kartę". Następni byli łucznicy z opaskami na oczach. Zachowałem zdrowy dystans i odmówiłem przyłączenia się mimo usilnych nalegań, tym bardziej gdy zauważyłem, że fotograf po cichu dołączył do wycieczki. Łucznicy z zawiązanymi oczami odnosili takie same sukcesy jak poszukiwacze z zasłoniętymi oczami. W końcu dołączyła do mnie młoda kobieta, prawdopodobnie dwudziestolatka

lub trzydziestolatka, której talent telepatyczny pozwalał jej odgadywać kolejne karty w tasowanej talii. „Siódemka karo – zgadywała. – Cholera, szóstka trefl. Ale pomyliłam się tylko o jedno oczko. Dziewiątka pik. Nie, to trójka karo. Aha, *tu jest* to karo". I tak to się odbywało. Powiedziała mi, że ćwiczy wiele godzin dziennie i wie, że musi trenować jeszcze ciężej.

Nie mogłem się powstrzymać, aby tym, którzy się zebrali wokół, a później na wykładzie, powiedzieć kilka podstawowych uwag, które można znaleźć także na stronach tej książki. Wyjaśniłem, że jesteśmy gatunkiem, który patrzy na świat i widzi wzorce. I w większości przypadków jest to rzecz dobra. W ciągu wielu pokoleń dobór naturalny umożliwił nam identyfikację wzorców tego, jak ludzie i przedmioty pojawiają się i poruszają, co pozwala szybko rozpoznać je za pomocą zaledwie kilku wizualnych wskazówek. Wykrywamy wzorce w zachowaniu zwierząt, co nam pozwala przewidywać, kiedy bezpiecznie do nich podejść, a kiedy najlepiej uciec jak najdalej. Uczymy się wzorców tego, jak przedmioty, od skały do włóczni, lecą po rzuceniu nimi, co było szczególnie przydatne dla naszych przodków, gdy starali się zdobyć następny posiłek. Przez wzorce rozwijamy środki komunikacji i w ten sposób łączymy się w grupy – od plemion do narodów – które mają potężne wpływy na świecie. Krótko mówiąc, zdolność do rozpoznawania wzorca decyduje o tym, czy przetrwamy. Jednak, kontynuowałem, czasami z tym przesadzamy. Czasami nasze naturalnie wyewoluowane detektory wzorców są tak bardzo przewrażliwione, że gotowe są znajdować wzorce i korelacje wyobrażeniowe, których nie ma. Czasami przypisujemy znaczenie temu, co znaczenia nie ma. Z podstawowej matematyki wiemy, że przeciętnie w jednej na cztery próby trafnie odgadniemy kolor karty; w jednej na trzynaście prób zgadniemy jej starszeństwo, ale ten wzór nie mówi nic o zdolnościach telepatycznych. Raz od wielkiego dzwonu – no, powiedzmy nawet jeszcze rzadziej – losowo błądząc po polu, znajdziesz pasującą ci kartę, ale to nie mówi nic o spełnianiu się marzeń. Jak często, pytałem, zauważasz, że to *nie był* niezwykły przypadek?

Uczestnicy, upakowani w stodole przypominającej jaskinię, owacyjnie przyjęli moje słowa. Wielu z nich powstało do oklasków na stojąco, co, jak powiedziałem wszystkim zgromadzonym, doceniam, ale co wprawia mnie w zakłopotanie. Mówię wam, że wasze podejście do odnalezienia głębszej rzeczywistości i metody, które praktykujecie, prowadzą donikąd. Kolejna owacja.

Później, podczas podpisywania książek, wielu uczestników, mówiąc półgłosem, wyjaśniało mi, że „wielu z nas nie kupuje tego, co tu się dzieje, i ważne jest, aby ktoś to powiedział na głos. Ale jest jeszcze *coś* innego, co odczuwamy, i uczęszczamy do szkoły, ponieważ chcemy być wśród innych, którzy mają tę samą potrzebę poszukiwania głębszej prawdy". Mogę się z tym utożsamić. Rozumiem tę potrzebę. Historia fizyki jest zbiorem epizodów, w których raz po raz heroiczne poszukiwania matematyczne i eksperymentalne ujawniły, że jest jeszcze *coś* innego – często coś dziwnego i cudownego, co wymaga od nas ponownego przetworzenia obrazu rzeczywistości. Istnieją wszelkie powody, by sądzić, że nasze obecne rozumienie rzeczywistości, nawet z jego zdolnością do wyjaśniania ogromnej liczby danych z niesamowitą precyzją, jest tymczasowe, a więc my, fizycy, przewidujemy, że w przyszłości ten rytm rewizji będzie się powtarzał wiele razy. Jednak to właśnie dzięki wielowiekowym wysiłkom udoskonaliliśmy nasze narzędzia badawcze, a to te metody matematyczne i eksperymentalne stanowią rygorystyczny korpus praktyki naukowej. Są to metody, które przekazujemy naszym studentom i pracownikom naukowym. Są to metody, które udowodniły swoją zdolność do odkrywania ukrytych cech rzeczywistości.

Jestem otwarty na niekonwencjonalne twierdzenia. Gdyby dane zebrane w starannie zaprojektowanych i powtarzalnych eksperymentach badających, powiedzmy, zdolność odgadywania kart w talii, potwierdziły lepszy wynik niż osiągany losowo, lub gdyby solidne dane naukowe udowodniły, że osobnik naszego gatunku jest w stanie przejąć ducha starożytnego mędrca wywodzącego się z dawno utraconej ziemi i przemawiać w jego imieniu, byłbym zainteresowany. Niezwykle zainteresowany. Jednak wobec braku takich danych i wobec braku jakichkolwiek powodów, aby

przewidywać, że takie dane mogą się pojawić, i wobec braku jakichkolwiek argumentów dowodzących, że takie twierdzenia nie są sprzeczne z tym wszystkim, co wiemy o funkcjonowaniu rzeczywistości, szybko przychodzi moment, kiedy powinniśmy stwierdzić, że nie ma podstaw do dawania wiary takim twierdzeniom.

W związku z tym pojawia się pytanie: Czy istnieje jakaś podstawa, by wierzyć w niewidzialną, wszechmocną istotę, która stworzyła Wszechświat, słucha nas i odpowiada na nasze modlitwy, śledzi to, co mówimy i robimy, i odpłaca nagrodami i karami? Chcąc dać bardziej rozbudowaną odpowiedź, warto najpierw pełniej sprecyzować pojęcie wiary.

Wiara, ufność i wartości

Wszyscy, którzy pytają mnie o moją wiarę w Boga, bez wyjątku pojmują „wiarę" w ten sam sposób, gdyby pytali o moją wiarę w mechanikę kwantową. W istocie często zadaje się mi te dwa pytania w tandemie. Skłaniam się do sformułowania odpowiedzi w kategoriach ufności – miary pewności – zauważając, że moje zaufanie do mechaniki kwantowej jest wysokie, ponieważ teoria ta dokładnie przewiduje cechy świata, takie jak magnetyczny moment dipolowy elektronu, z precyzją wykraczającą poza dziewiąte miejsce po przecinku, podczas gdy moja wiara w istnienie Boga jest niska z powodu braku rygorystycznych danych ją wspierających. Ufność, jak pokazują te przykłady, wyłania się z beznamiętnego, zasadniczo algorytmicznego osądu dowodów.

Rzeczywiście, kiedy fizycy analizują dane i publikują wynik, oceniają ilościowo swoją ufność, stosując ugruntowane metody matematyczne. Słowo „odkrycie" jest zazwyczaj używane tylko wtedy, gdy poziom ufności przekracza pewien próg: prawdopodobieństwo statystycznego szczęśliwego trafu musi być mniejsze niż około jedna trzyipółmilionowa (ułamek wyglądający przerażająco, ale w sposób naturalny pojawiający się w analizach statystycznych). Oczywiście, nawet tak wysoki poziom ufności nie gwarantuje, że „odkrycie" jest prawdziwe. Dane z kolejnych

eksperymentów mogą wymagać od nas korekty zaufania; również w tym przypadku matematyka dostarcza algorytmu aktualizacji.

Podczas gdy niewielu z nas zajmuje się takimi metodami matematycznymi, do wielu z naszych przekonań dochodzimy dzięki podobnemu, jednak mniej jawnemu rozumowaniu analitycznemu. Patrzymy na Jacka i Jill i zastanawiamy się, czy mogą być parą; widzimy ich ciągle razem i nasza ufność w ten wniosek rośnie. Później dowiadujemy się, że Jack i Jill są rodzeństwem, zatem ignorujemy naszą wcześniejszą ocenę. I tak dalej. Jest to powtarzający się proces, który, jak można przewidzieć, przybliża nas coraz bardziej do wiary odzwierciedlającej prawdziwą naturę świata. Tak jednak nie musi być. Ewolucja nie skonfigurowała naszych procesów mózgowych w taki sposób, aby tworzyć przekonania, które są zgodne z rzeczywistością. Skonfigurowała je tak, aby sprzyjały przekonaniom, które powodują zachowania sprzyjające przetrwaniu. I te dwa czynniki nie muszą się pokrywać. Gdyby nasi przodkowie dokładnie zbadali każdy świst i szmer, który przykuł ich uwagę, odkryliby, że większość z nich da się wyjaśnić bez odwoływania się do czynnika wolicjonalnego. Natomiast z punktu widzenia zdolności adaptacyjnej ich uciążliwa inwestycja w poszukiwanie prawdy miałaby niewiele sensu. Przez dziesiątki tysięcy pokoleń nasze mózgi wystrzegały się głębszej analizy prostego rozumienia rzeczywistości. Bystre odpowiedzi często zwyciężały przemyślane oceny. Prawda jest ważną postacią w dramacie wiary, ale to przetrwanie i rozmnażanie przyciągają uwagę w tym spektaklu.

Zagęszczając dalej fabułę, ewolucja dodała do obsady kolejną postać: emocje. W 1872 roku, kilkanaście lat po ogłoszeniu koncepcji ewolucji drogą doboru naturalnego, Darwin opublikował *O wyrazie uczuć u człowieka i zwierząt*, dzieło pogłębiające jego pogląd, że to biologicznie przystosowany mózg, a nie kultura, jest głównym motorem ekspresji emocjonalnej. Opierając się na uważnych obserwacjach swoich dzieci, szeroko rozpowszechnionych ankietach i danych międzykulturowych, które zebrał podczas długich wypraw, Darwin stwierdził, że na przykład uśmiechanie się, gdy jest się zadowolonym, lub czerwienienie, gdy jest się zakłopotanym, to uniwersalna reakcja. Można było liczyć na te bardzo oczywiste

reakcje w różnych kulturach świata. W ciągu półtora wieku od tego czasu naukowcy przejęli inicjatywę Darwina i szukali adaptacyjnych ról, które mogłyby wyjaśnić różne ludzkie emocje, jak również badali układy nerwowe, które mogłyby być odpowiedzialne za ich tworzenie. Strach, jak wykazały badania, jest rzeczywiście pierwotny – od początku życia pojawia się znacząca wartość adaptacyjna w szybkich behawioralnych i fizjologicznych reakcjach na zagrożenie. Miłość rodzicielska, która zapewnia niezbędną opiekę bezradnemu potomstwu, jest wartością adaptacyjną prawdopodobnie też mającą starożytny rodowód. Zakłopotanie, poczucie winy i wstydu, które są szczególnie istotne w większych grupach, są zachowaniami adaptacyjnymi, które prawdopodobnie pojawiły się później w miarę wzrostu liczebności grupy[217]. Znaczenie dla nas ma tutaj to, że gdy adaptacyjna presja kształtowała w ludzkim mózgu zdolność mówienia, opowiadania historii, tworzenia mitów, praktykowania rytuałów, tworzenia sztuki i nauki, to ta sama presja również kształtowała nasze bogate życie emocjonalne. Emocje zostały wplecione w cały nasz rozwój ewolucyjny. Wierzenia wyłoniły się w taki oto sposób ze złożonego rachunku dokonującego syntezy przemyślanych analiz i reakcji emocjonalnych w umyśle nabywającym umiejętność przetrwania[218].

Nasz rachunek wiary jest również zależny od wielu czynników, takich jak wpływy społeczne, siły polityczne i zwykłe potrzeby chwili. We wczesnym okresie życia wiara jest silnie uwarunkowana przez władzę rodzicielską. Mama czy tata mówią, że to prawda, więc to prawda. Jak zauważył Richard Dawkins, dobór naturalny faworyzuje rodziców, którzy przekazują swoim dzieciom informacje zwiększające ich szanse przeżycia, a więc wierzenie w to, co mówią mama lub tata, ma ewolucyjny sens. Później wiele z nich rozpoczyna własny rachunek wiary – badając, dyskutując, czytając i podważając swoje przekonania – taki, który sam w sobie jest często tendencyjny ze względu na istniejące wcześniej oczekiwania i ze względu na wpływ przekonań innych osób. Większość z nas rozszerza również listę autorytetów uznawanych za wiarygodne – nauczycieli, przywódców, przyjaciół, urzędników i innych utytułowanych ekspertów. Musimy. Nikt nie jest w stanie na nowo odkryć ani nawet

zweryfikować wiedzy gromadzonej przez tysiące lat. Kiedyś miałem sen, naprawdę koszmarny, o tym, że znowu broniłem dysertacji doktorskiej, a członek komisji, chichocząc pod nosem, powiedział mi, że wszystkie eksperymenty i wszystkie obserwacje dowodzące kwantowomechanicznych „praw" fizyki zostały wymyślone. Byłem obiektem wyrafinowanego żartu, zostałem wprowadzony w błąd przez panteon szanowanych przeze mnie autorytetów i społeczność rówieśników, którym ufałem. To mało prawdopodobne, jak na scenariusz snu, ale faktem jest, że osobiście zweryfikowałem wyniki jedynie niewielkiego ułamka istotnych eksperymentów dokonanych w tej dziedzinie. Można powiedzieć, że w większość wyników po prostu uwierzyłem.

Moja wiara wynika z dziesięcioleci osobistych doświadczeń, kiedy byłem świadkiem tego, jak fizycy minimalizują ludzki subiektywizm, koncentrując się na starannie zgromadzonych danych, bezustannie sprawdzając hipotezy i odrzucając wszystkie poza tymi, które spełniają rygorystyczny zestaw uniwersalnych standardów. Nawet mimo tak wzmożonej uwagi nieprzewidywany wypadek i ludzkie uprzedzenia powodowane emocjami znajdują sposób, by się w nie wsączyć. Jedno z dominujących podejść do mechaniki kwantowej (nazywane *interpretacją kopenhaską*) można po części przypisać potężnym i wpływowym osobowościom, które tworzyły tę teorię. Omówienie tego tematu można znaleźć w mojej książce *Ukryta rzeczywistość*, ale podejrzewam, że gdyby mechanika kwantowa była rozwijana w innej obsadzie wielkich postaci, nauka formalnie byłaby ta sama, ale ta szczególna interpretacja nie cieszyłaby się tak dominującą pozycją przez wiele dziesięcioleci. Piękno nauki polega na tym, że dzięki ciągłym badaniom doktryny jednego wieku są starannie przemyślane w następnych i w ten sposób znajdują się coraz bliżej celu, jakim jest obiektywna prawda. Jednak nawet w dyscyplinie stworzonej z myślą o obiektywności musi to być proces. A to wymaga czasu.

Nic dziwnego, że w niechlujnej, przypadkowej, emocjonalnie obciążonej sferze codziennych ludzkich przedsięwzięć spektrum wiary jest szerokie i kreatywne, choć czasami niejasne i frustrujące. Kształtując przekonania, niektórzy zwracają się ku nauce, zarówno

pod względem treści, jak i strategii. Niektórzy opierają się na władzy, inni na społeczności. Niektórzy są zmuszani, czasem subtelnie, czasem otwarcie. Niektórzy pokładają największe zaufanie w tradycji. Inni dają pełne kompetencje intuicji. A w tajnych i na ogół niemonitorowanych ośrodkach przetwarzania umysłu każdy z nas używa idiosynkratycznej i bardzo zmiennej kombinacji tych wszystkich taktyk. Co więcej, nic nie stoi na przeszkodzie, aby utrzymywać niezgodne ze sobą przekonania lub podejmować działania, które dowodzą, że tak jest. Czuję się komfortowo, przyznając, że co jakiś czas stukam w drewno, mówię do zmarłych lub szukam wzmocnienia w niebie. Nic z tego nie mieści się w mojej racjonalnej wierze w świat, a mimo to jestem całkowicie zadowolony z moich okazjonalnych apotropaicznych odchyleń. Istotnie tkwi w tym pewna radość, w tym chwilowym wychodzeniu poza racjonalne ograniczenia.

Zauważcie też, że w przeciwieństwie do zawodowych filozofów, którym płaci się za analizowanie wiary – ujawnianie ukrytych założeń i błędnych wniosków – większość z nas teraz ani naszych przodków tak nie postępuje i nie postępowała. Wiele wierzeń u wielu żyjących pozostaje niezbadanych. Być może jest to własna odmiana adaptacji. Zapatrzeni w siebie mają tendencję do niedostrzegania tego, że zapasy żywności są małe lub że tarantula skrada się podstępnie. Oznacza to, że przy ocenie, dlaczego tak odmienne są ścieżki wiary w to samo, wyobrażenie wiary jako powstałej w wyniku intensywnych rozważań i dokładnego badania krzyżowego jest często dalekie od prawdy. Jak zauważa Boyer, „Zakładamy, że pojęcia istot nadprzyrodzonych (...) są przedstawiane umysłowi i że jakiś proces decyzyjny akceptuje te pojęcia jako odpowiednie lub je odrzuca". A ponieważ te idee podrażniają wiele ośrodków wnioskowania mózgu – od wykrycia działań intencjonalnych przez teorię umysłu do śledzenia relacji i tak dalej – a także dlatego, że dobór naturalny przygotował te ośrodki do wykonywania własnej diagnostyki znacznie poniżej progu świadomości, racjonalny model sędziego i ławy przysięgłych „może być raczej wypaczonym poglądem na to, jak takie pojęcia są przyswajane i przedstawiane"[219].

Nawet te kwestie, do których można rozsądnie stosować koncepcję wiary, zmieniają się z epoki na epokę. Jak zauważa Karen Armstrong, osoby odprawiające rytuały starożytnych misteriów eleuzyjskich „byłyby zdziwione, gdyby zapytano je, czy wierzą, że Persefona rzeczywiście zeszła na ziemię w sposób opisany w tym micie”[220]. Byłoby to równoznaczne z pytaniem, czy wierzysz w zimę. „Wierzyć w zimę? – odpowiesz słusznie. – Pory roku, cóż, po prostu są”. Podobnie Armstrong wyobraża sobie, że nasi przodkowie zaakceptowaliby podróże Persefony, „ponieważ gdziekolwiek spojrzałeś, widziałeś, że życie i śmierć są nierozłączne i że ziemia umarła i ożyła ponownie. Śmierć była straszna, przerażająca i nieunikniona, ale to nie był koniec. Jeśli ściąłeś roślinę i wyrzuciłeś martwą gałązkę, to zyskała ona nową latorośl”[221]. Mit nie błagał o wiarę. Nie wywołał on kryzysu wiary, który przez żmudne rozważania został rozwiązany przez jego obserwatorów. Mit dostarczył poetyckiego schematu, metaforycznego sposobu myślenia, który stał się nierozerwalnie związany z rzeczywistością, na jaką rzucał światło.

Być może istnieje również analogia do tego, co dzieje się podczas długotrwałego rozwoju języka naturalnego[222] . W dążeniu do akcentowania i twórczej ekspresji mówcy posypują swoje zdania metaforami, jedną za drugą. Właśnie to zrobiłem, ale najprawdopodobniej nie zauważyliście. Posypujemy solą potrawkę z mięsa i jarzyn, ciastka posypujemy cukrem. A jednak posypka, na którą się powołuję, jest tak bardzo banalną metaforą, że rzadko spotyka się czytelnika, dla którego fraza ta przywołuje obraz ręki delikatnie rozpraszającej słowa na uczcie świeżo ugotowanych zdań. Z czasem metafory stają się tak nadużywane, że wszelka niesiona przez nie jakość poetycka wyparowuje stopniowo (wyparowuje woda, nie poezja) i stają się codziennymi słowami-końmi roboczymi (pracują konie, nie słowa). Jednym słowem, stają się one dosłowne. Być może analogiczny proces rozgrywa się z pojęciami mityczno-religijnymi. Być może takie pojęcia zaczynają żywot jako sugestywne, poetyckie, metaforyczne sposoby patrzenia na świat, które z biegiem czasu stopniowo tracą swoją poezję, tracą swoje metaforyczne znaczenie i stają się dosłowne.

Najbliżej takiej dosłowności jestem, gdy uznaję, że może istnieć taki czy inny bóg. Przyznaję, że nikt nigdy nie może tej możliwości wykluczyć. Dopóki rzekomy wpływ Boga w żaden sposób nie modyfikuje rozwoju rzeczywistości, który jest dobrze opisany przez prawa matematyczne, dopóty Bóg ten jest zgodny ze wszystkim, co obserwujemy. Istnieje ogromna przepaść między zwykłą zgodnością a koniecznością wyjaśnienia. Powołujemy się na równania Einsteina i Schrödingera, modele ewolucji Darwina i Wallace'a, podwójną helisę Watsona i Cricka oraz długą listę innych osiągnięć naukowych nie dlatego, że są one zgodne z naszymi obserwacjami, chociaż oczywiście są, ale dlatego, że mają moc predykcji i są potężną, szczegółową strukturą wyjaśniającą nasze obserwacje. Do tych standardów doktryny religijne nie dorastają; oczywiście, wielu wiernych uważa to zagadnienie za nieistotne. Problem polega na tym, że dosłowne podejście wyklucza taką ocenę. Religijne twierdzenie interpretowane dosłownie jako twierdzenie o świecie, sprzeczne z ustalonym prawem naukowym, jest fałszywe. Kropka. W takich przypadkach stosowanie dosłownej interpretacji jest równoznaczne z akceptacją istnienia Ramthy.

Niemniej jednak doktryna religijna (nawet doktryna Ramthy) może pozostać w pełni częścią racjonalnego dyskursu, jeśli jesteśmy skłonni odejść od dosłowności, wybiórczego podejścia do pism świętych, lekceważenia elementów, które uważamy za obraźliwe lub przestarzałe, interpretowania opowieści i stwierdzeń w sposób poetycki lub symboliczny lub po prostu jako elementów fikcyjnej opowieści. Jest wiele powodów, które mogą nas do tego skłonić. Możemy znaleźć radość lub pociechę, postrzegając swoje życie jako rozgrywające się w ramach większej i dla niektórych bardziej satysfakcjonującej perspektywy, a także możemy znaleźć radość lub pociechę w znikomym uwzględnieniu nadnaturalnych właściwości religii lub metafizycznych twierdzeń. Lektura opowieści religijnych może mieć dla nas wartość jako głęboko poruszająca skarbnica, w której symbolicznie przedstawione są istotne cechy ludzkiej kondycji. Możemy cieszyć się wyzwaniem, jakim jest opracowanie systemu interpretacji, który porównuje poszczególne doktryny religijne z wiedzą naukową. Nagrodą dla nas może być połączenie

religijnej wrażliwości z zaangażowaniem w świat, dodanie takiej warstwy, która wzmocni doświadczenie, ale nie będzie negować racjonalności. Przynależność do wspólnoty religijnej mogłaby przynosić nam korzyść w postaci wsparcia i solidarności. Wzbogaca nas emocjonalnie uczestnictwo w rytuałach religijnych, obrzędach konsekrowanych i obchodzeniu świąt, które łączą nas z religijną tradycją. Takie odmiany zaangażowania religijnego mogą być źródłem aktywności, motywacji, wspólnoty i wskazówek, które części z nas wytyczają drogę do bogatszego życia mającego głębsze znaczenie. Takie odmiany zaangażowania religijnego nie wymagają wiary w faktyczną naturę treści religijnych; odzwierciedlają wiarę w wartość tych treści, niezależnie od tego, czy są one prawdziwe.

Ponad sto lat temu William James zaproponował wnikliwą i szczerą analizę doświadczeń religijnych, która jest zgodna ze spostrzeżeniem Dalajlamy dotyczącym fizyki i świadomości. Mianowicie podkreślił, że podczas gdy nauka kultywuje obiektywne, bezosobowe podejście, to tylko przez rozważanie naszych wewnętrznych światów – „grozy i piękna zjawisk, »obietnicy« świtu i tęczy, »odgłosu« grzmotu, »łagodności« letniego deszczu, »piękna« gwiazd, a nie fizycznych praw i tego, co z nich wynika”[223] – możemy mieć nadzieję, że kiedykolwiek uda nam się opracować pełny obraz rzeczywistości. Podobnie jak Kartezjusz, James podkreślał, że nasze wewnętrzne doświadczenie jest w rzeczywistości *jedynym* doświadczeniem. Nauka może poszukiwać obiektywnej rzeczywistości, ale nasz jedyny dostęp do tej rzeczywistości odbywa się przez subiektywne przetwarzanie umysłu. W ten sposób umysł ludzki bezustannie interpretuje obiektywną rzeczywistość, przez tworzenie tej subiektywnej.

Zatem jeśli praktyka religijna – lub być może lepszym określeniem byłaby tutaj praktyka duchowa – jest podejmowana jako eksploracja wewnętrznego świata umysłu, wewnętrzna podróż przez subiektywne doświadczanie rzeczywistości, pytania o to, czy ta lub inna doktryna odzwierciedla obiektywną prawdę, stają się drugorzędne[224]. Dążenia religijne czy duchowe nie muszą poszukiwać widocznych aspektów świata zewnętrznego; istnieje cały wewnętrzny krajobraz do zgłębiania, począwszy od grozy i piękna, obietnic

i głosu, łagodności i wzniosłości, które James odnosił do obszernej listy innych ludzkich konstruktów, włączając w to dobro i zło, podziw i strach, zdumienie i wdzięczność, jakie przywoływaliśmy na przestrzeni wieków, aby uświęcić wartość i znaleźć znaczenie. Bez względu na to, jak uporczywie będziemy się przyglądać poszczególnym cząstkom natury, bez względu na to, jak pilnie będziemy przestrzegać jej podstawowych zasad matematycznych, nie dostrzeżemy tych koncepcji. Pojawiają się one tylko wtedy, gdy poszczególne złożone układy cząstek rozwijają zdolności do myślenia, odczuwania i refleksji. I jakże spektakularne i satysfakcjonujące jest to, że mogą istnieć takie zbiory kłębiących się cząstek, działających pod nieugiętą kontrolą praw fizyki, a jednocześnie zdolnych wydać na świat te cechy.

Dla mnie analogia do ostrych metafor językowych, które zostały wytarte na gładko przez wieki, wydobywa istotną, oczywistą, acz wymowną kwestię: wiele religii świata jest przestarzałych. To jest bardzo ważne. Przez wieki, jeśli nie tysiąclecia, praktyka religijna przyciągała uwagę ludzi i w różnych kombinacjach dostarczała im struktury rytuału, informowała o ich poczuciu miejsca w świecie, kierowała ich wrażliwością moralną, inspirowała tworzenie dzieł artystycznych, oferowała udział w ekscytującej historii, obiecywała, że śmierć nie jest końcem, a także, oczywiście, zastraszała surowymi karami, ośmielała niektórych do brutalnej walki, usprawiedliwiała zniewolenie i zabijanie przestępców itd. Trochę dobrze, trochę źle, trochę strasznie. W konsekwencji tego wszystkiego tradycje religijne zostały podtrzymane. Zdecydowanie nie dając wglądu w możliwą do sprawdzenia podstawę materialnej rzeczywistości – co jest celem nauki – religia zapewniała niektórym jej wyznawcom poczucie spójności, które nadało życiu treść, umieszczając to, co znajome, i to, co egzotyczne, radości i mozół w obszerniejszej opowieści. Z tego powodu sędziwe religie świata mają rodowód łączący wyznawców na przestrzeni wieków.

Wychowano mnie na Żyda. W wielkie święta chodziliśmy całą rodziną na nabożeństwa, a ja byłem zapisany do miejscowej szkoły hebrajskiej. Napływ nowych uczniów co roku oznaczał, że klasa zaczynała od nowa naukę alfabetu hebrajskiego, spokojnie więc

siedziałem z boku i kartkowałem Stary Testament. Gorzko narzekałem na moich rodziców, ale prawdę mówiąc, podobało mi się czytanie o Samuelu i Absalomie oraz Izmaelu i Hiobie, a także o całej reszcie. Z biegiem lat coraz bardziej oddalałem się od religii, nie odczuwając potrzeby formalnego w niej uczestnictwa. Potem podczas przerwy w nauce w Oksfordzie udałem się na wycieczkę do Izraela. Nadgorliwy rabin jakoś się dowiedział, że młody amerykański fizyk włóczy się po ulicach Jerozolimy. Wytropił go, otoczył talmudycznymi uczonymi, którzy „również badali pochodzenie Wszechświata", i przekonywał – a raczej naciskał – pełnego szacunku dwudziestoletniego studenta, by odwiedził jego świątynię oraz owinął ręce i czoło tradycyjnym skórzanym przyborem do odprawiania rytuału – tefilin. Dla rabina było to działanie woli Bożej. Owieczka miała zostać sprowadzona z powrotem do owczarni. Dla studenta był to ciężki przymus angażowania się w świętą praktykę bez wewnętrznego przekonania. Kiedy student w końcu rozplątał skórzane opaski i opuścił świątynię, wiedział, że to już koniec.

A jednak kiedy zmarł mój ojciec, wielką pociechą było dla mnie codzienne przybywanie do naszego domu gorliwych Żydów, którzy odmawiali kadisz. Mój tata, niezbyt religijny człowiek, wtedy, gdy odprawiano nad nim ten sam rytuał, który odprawiano niezliczoną liczbę razy przed nim, objęty został tradycją sięgającą tysięcy lat wstecz. Słowa modlitwy, które skandowali mężczyźni, nie miały większego znaczenia. Były to słowa aramejskie, zbiór starożytnych dźwięków, plemienna poezja odciśnięta w kadencji i rytmie, której tłumaczeniem nie byłem zainteresowany. W tych krótkich chwilach znaczenie miała dla mnie – natura mojej wiary, jeśli tak można to określić – historia i więź. Tym dla mnie jest wspaniałość dziedzictwa. Tym dla mnie jest majestat religii.

186 Prace wykopaliskowe w jaskini Kafza w 1934 r. rozpoczął francuski archeolog René Neuville, a kontynuował zespół prowadzony przez antropologa Bernarda Vandermeerscha. Według słów Vandermeerscha i jego współpracowników miejsce pochówku w Kafza 11 „potwierdza złożenie ofiary do grobu, a nie przypadkowe pogrzebanie. Wszystkie te spostrzeżenia zdecydowanie wspierają interpretację celowego, ceremonialnego pochówku". Zob. Hélène Coqueugniot i in., *Earliest cranio-encephalic trauma from the Levantine Middle Palaeolithic: 3D reappraisal of*

the Qafzeh 11 skull, consequences of pediatric brain damage on individual life condition and social care, PloS One 9 (23 lipca 2014 r.): 7 e102822.

187 Erik Trinkaus, Alexandra Buzhilova, Maria Mednikova, Maria Dobrovolskaya, *The People of Sunghir: Burials, Bodies and Behavior in the Earlier Upper Paleolithic*, Oxford University Press, Nowy Jork 2014.

188 Edward Burnett Tylor, *Primitive Culture*, t. 2, John Murray, Londyn 1873; Dover Reprint Edition, 2016, s. 24.

189 Mathias Georg Guenther, *Tricksters and Trancers: Bushman Religion and Society*, Indiana University Press, Bloomington, IN 1999, s. 180–198.

190 Peter J. Ucko, Andrée Rosenfeld, *Paleolithic Cave Art.*, McGraw-Hill, Nowy Jork 1967, s. 117–123, 165–174.

191 David Lewis-Williams, *The Mind in the Cave: Consciousness and the Origins of Art*, Thames & Hudson, Nowy Jork 2002, s. 11. Chociaż wiele prac powstało również na bardziej dostępnych powierzchniach, to jednak istnienie pokaźnej kolekcji, której wykonanie napotykało znaczne trudności, nadaje tej perspektywie znaczenie.

192 Salomon Reinach, *Cults, Myths and Religions*, przeł. Elizabeth Frost, David Nutt, Londyn 1912, s. 124–138.

193 Propozycja zyskała dużą popularność, ale późniejsze odkrycie rozbieżności między gatunkami zwierząt, których kości zostały wykopane w pobliżu różnych jaskiń, a tymi przedstawionymi na skalnych ścianach, budzi wątpliwości. Jeśli szukasz odrobiny szczęścia podczas polowania na żubry, to namalujesz żubra. Albo tak ci się wydaje. Jednak dane nie potwierdziły tej hipotezy. Zob. Jean Clottes, *What Is Paleolithic Art? Cave Paintings and the Dawn of Human Creativity*, University of Chicago Press, Chicago 2016.

194 Benjamin Smith, wiadomość przekazana prywatnie, 13 marca 2019 r.

195 Pascal Boyer, *Religion Explained: The Evolutionary Origins of Religious Thought*, Basic Books, Nowy Jork 2007, s. 2.

196 Szczegółowa dyskusja znajduje się np. w: *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*…; David Buss, *Evolutionary Psychology*…

197 Inne ujęcia kognitywistyki religii zob. np. Justin L. Barrett, *Why Would Anyone Believe in God?*...; Scott Atran, *In Gods We Trust: The Evolutionary Landscape of Religion*, Oxford University Press, Oksford 2002; Todd Tremlin, *Minds*

and Gods: The Cognitive Foundations of Religion, Oxford University Press, Oksford 2006).

198 Pascal Boyer, *Religion Explained*…, s. 46–47; Daniel Dennett, *Breaking the Spell*…, s. 122–123; Richard Dawkins, Dawkins Richard, *Bóg urojony*, przeł. P. Szwajcer, Wydawnictwo CiS, Warszawa 2013.

199 Po raz pierwszy opisany przez Darwina dobór krewniaczy (lub dostosowanie łączne) został zanalizowany w: R.A. Fisher, *The Genetical Theory of Natural Selection*, Clarendon Press, Oksford 1930; J.B.S. Haldane, *The Causes of Evolution*, Longmans, Green & Co., Londyn 1932; W.D. Hamilton, *The Genetical Evolution of Social Behaviour*, „Journal of Theoretical Biology" 1964, nr 7 (1), s. 1–16. Ostatnio użyteczność dostosowania łącznego w zrozumieniu rozwoju ewolucyjnego została zakwestionowana w: M.A. Nowak, C.E. Tarnita, E.O. Wilson, *The evolution of eusociality*, „Nature" 2010, nr 466, s. 1057–1062, co spotkało się z krytyczną odpowiedzią podpisaną przez 136 naukowców: P. Abbot, J. Abe, J. Alcock i in., *Inclusive fitness theory and eusociality*, „Nature" 2010, nr 471, s. E1–E4.

200 David Sloan Wilson, *Does Altruism Exist? Culture, Genes and the Welfare of Others*, Yale University Press, New Haven 2015; tegoż, *Darwin's Cathedral: Evolution, Religion and the Nature of Society*, University of Chicago Press, Chicago 2002.

201 Jeden przykład: Steven Pinker w *The Believing Brain*, publiczne wystąpienie na World Science Festival, Nowy Jork, Gerald Lynch Theatre, 2 czerwca 2018 r., https://www.worldsciencefestival.com/videos/believing-brain-evolution-neuroscience-spiritual-instinct/46:50–49:16.

202 Karol Darwin, *O pochodzeniu człowieka*... Komentarz Darwina idzie w kierunku długotrwałej debaty na temat procesu doboru grupowego. Standardowa teoria ewolucji opiera się na doborze naturalnym działającym w odniesieniu do pojedynczych organizmów: te, które potrafią przetrwać i się rozmnażać, będą bardziej skuteczne w przekazywaniu swojego materiału genetycznego kolejnym osobnikom. Dobór grupowy jest podobnym mechanizmem, ale działa na całe grupy: te, które przetrwają (jako grupy jednostek) i będą się rozmnażać (w sensie zwiększania liczby osobników i wyodrębniania nowych grup), będą z większym powodzeniem przekazywać cechy dominujące kolejnym grupom. (Uwaga Darwina skupia się na jednostkach współpracujących, które przyczyniają się do sukcesu grupy, co przejawia się w tym, że populacja grupy się powiększa, w przeciwieństwie do grupy dającej większą liczbę podobnych grup, ale nadal opiera się na fundamentalnym wzajemnym oddziaływaniu między zachowaniami korzystnymi dla jednostki a tymi korzystnymi dla grupy). Nie ma kontrowersji co do zasady, że dobór grupowy może zachodzić. Wątpliwości budzi stwierdzenie, czy

dzieje się to w praktyce: kwestią jest jedna ze skal czasowych. Jest naturalne, że typowa skala czasu, w jakiej jednostka albo się rozmnaża, albo umiera, jest znacznie krótsza niż odpowiadająca jej skala czasowa, w której grupa albo się dzieli, albo rozpada. A jeśli tak jest, to – jak twierdzą krytycy doboru grupowego – proces ten okazuje się zbyt wolny, by miał znaczenie. W odpowiedzi David Sloan Wilson, wieloletni zwolennik tej koncepcji (w jeszcze bardziej uogólnionej formie znanej jako dobór wielopoziomowy), dowodził, że duża część debaty sprowadza się do różnych, ale ostatecznie równoważnych metod liczenia (różnych sposobów podziału całej populacji) i tym samym jest mniej kontrowersyjna, niż wynikałoby to z trwających sporów (zob. David Sloan Wilson, *Does Altruism Exist?*..., s. 31–46).

203 Znaczenie emocjonalnych podstaw zaangażowania religijnego badane jest w: R. Sosis, *Religion and intra-group cooperation: Preliminary results of a comparative analysis of utopian communities*, „Cross-Cultural Research" 2000, nr 34, s. 70–87; R. Sosis, C. Alcorta, *Signaling, solidarity, and the sacred: The evolution of religious behavior*, „Evolutionary Anthropology" 2003, nr 12, s. 264–274.

204 Robert Axelrod, William D. Hamilton, *The Evolution of Cooperation*, „Science" 1981, nr 211, s. 1390–1396; Robert Axelrod, *The Evolution of Cooperation*, wyd. poprawione, Perseus Books Group, Nowy Jork 2006.

205 Jesse Bering, *The Belief Instinct*, W.W. Norton, Nowy Jork 2011.

206 Sheldon Solomon, Jeff Greenberg, Tom Pyszczynski, *The Worm at the Core: On the Role of Death in Life*, Random House Publishing Group, Nowy Jork 2015, s. 122.

207 Abram Rosenblatt, Jeff Greenberg, Sheldon Solomon i in., *Evidence for Terror Management Theory I: The Effects of Mortality Salience on Reactions to Those Who Violate or Uphold Cultural Values*, „Journal of Personality and Social Psychology" 1989, nr 57, s. 681–690. Recenzja: Sheldon Solomon, Jeff Greenberg, Tom Pyszczynski, *Tales from the Crypt: On the Role of Death in Life*, „Zygon" 1998, nr 33 (1), s. 9–43.

208 Tom Pyszczynski, Sheldon Solomon, Jeff Greenberg, *Thirty Years of Terror Management Theory*, „Advances in Experimental Social Psychology" 2015, nr 52, s. 1–70.

209 Pascal Boyer, *Religion Explained*…, s. 20.

210 William James, *The Varieties of Religious Experience*…, s. 485.

211 Stephen Jay Gould, *The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould*, W.W. Norton, Nowy Jork 2006, s. 232–233.

212 Stephen J. Gould, w: *Conversations About the End of Time*, Fromm International, Nowy Jork 1999. Na temat badania wpływu świadomości własnej śmierci na wiarę w istoty nadprzyrodzone zob. np. A. Norenzayan, I.G. Hansen, *Belief in supernatural agents in the face of death*, „Personality and Social Psychology Bulletin" 2006, nr 32, s. 174–187.

213 Karl Jaspers, *The Origin and Goal of History*, Routledge, Abingdon, UK 2010, s. 2.

214 https://studioopinii.pl/archiwa/101207 (dostęp 09.08.2020). Wendy Doniger (przeł.), *The Rig Veda*, Penguin Classics, Nowy Jork 2005, s. 25–26.

215 Jego Świątobliwość Dalajlama, Houston, Teksas, 21 września 2005 r. Chociaż nie udało mi się odnaleźć zapisu rozmowy, to przynajmniej jest to bliska parafraza jego odpowiedzi.

216 Jak w przypadku historycznych korzeni wszystkich głównych religii, toczy się naukowa debata na temat tego, kiedy dokładnie powstały różne teksty, kiedy osiągnęły one formę kanoniczną itd. Zacytowane przeze mnie daty są zgodne z niektórymi opiniami naukowymi, ale ponieważ nie ma co do tego powszechnej zgody, należy je postrzegać jako jedynie przybliżone.

217 David Buss, *Evolutionary Psychology*…, s. 90–95, 205–206, 405–409.

218 Dogłębną, przystępną i ożywioną dyskusję na temat ludzkiej wiary i różnych czynników, które na nią wpływają, zob. w: Michael Shermer, *The Believing Brain: From Ghosts and Gods to Politics and Conspiracies*, St. Martin's Griffin, Nowy Jork 2011. Chociaż wpływ, jaki emocje mogą mieć na wiarę, może wydawać się oczywisty, do niedawna naukowcy zwracali uwagę na oddziaływanie wiary na emocje, co podkreślają: N. Frijda, A.S.R. Manstead, S. Bem, *The influence of emotions on belief*, w: *Emotions and Beliefs: How Feelings Influence Thoughts (Studies in Emotion and Social Interaction)*, red. N. Frijda, A. Manstead, S. Bem, Cambridge University Press, Cambridge 2000, s. 1–9. Badanie wpływu emocji na tworzenie wierzeń w kontekstach, w których wcześniej nie było ich wcale, a także wpływu emocji na skłonność do zmiany wierzeń, zostały opisane w: N. Frijda, B. Mesquita, *Beliefs through emotions*, w: *Emotions and Beliefs*…, s. 45–77.

219 Pascal Boyer, *Religion Explained*…, s. 303.

220 Karen Armstrong, *Krótka historia mitu*...

221 Ibidem.

222 Guy Deutscher, *The Unfolding of Language*…

223 William James, *The Varieties of Religious Experience*…, s. 498.

224 Ibidem, s. 506–507.

Rozdział 8
Instynkt i kreatywność

Od świętości do wzniosłości

Siódmego maja 1824 roku Ludwig van Beethoven wystąpił na scenie Teatru am Kärntnertor w Wiedniu na premierze swojej dziewiątej i ostatniej symfonii. Był to pierwszy publiczny występ artysty od wielu lat. W programie zapowiedziano, że kompozytor będzie tylko pomagał w dyrygowaniu, ale w miarę jak teatr się wypełniał i dało się wyczuć nastrój oczekiwania wśród publiczności, nie mógł się powstrzymać. Według pierwszego skrzypka Josepha Böhma: „Sam Beethoven dyrygował, to znaczy stał przed pulpitem dyrygenckim i rzucał się tam i z powrotem jak szaleniec. W jednej chwili wyprostowywał się na całą wysokość, w następnej przykucał do podłogi, machał rękami i stopami, jakby sam chciał grać na wszystkich instrumentach i śpiewać zamiast chóru”[225]. Beethoven cierpiał na ostre szumy uszne – które określił jako ryk w uszach – i od tego momentu swego życia był prawie całkowicie głuchy. W związku z tym, gdy orkiestra zagrała ostatnie dźwięki triumfu, nieświadomy tego, że utracił kilka taktów, nadal zawzięcie dyrygował. Kontralt delikatnie chwycił go za rękawy i odwrócił twarzą do publiczności, chusteczki powiewały do wtóru głośnych owacji. Beethoven płakał. Skąd mógł wiedzieć, że dźwięki, które słyszał tylko we własnym umyśle, poruszą uniwersalną strunę podstaw człowieczeństwa?

Mity i religie ujawniają, jak nasi przodkowie starali się nadać światu sens. Poszukiwali w tradycji obejmującej opowieści, rytuały i wiarę – czasem ze współczuciem, czasem z nieopisaną brutalnością – takiej historii, która wyjaśniałaby dotychczasowe życie i zachęcała do dalszych działań. Jako jednostki podążamy tą samą drogą, opierając się na instynkcie i pomysłowości w celu zapewnienia sobie przetrwania, jednocześnie szukając powodu, dla którego powinniśmy się o to troszczyć. Niektórzy na tej drodze pojmują spójność rzeczywistości w nowy i zaskakujący sposób, przez refleksje nad dziełami literackimi, artystycznymi, muzycznymi i naukowymi, które na nowo definiują poczucie własnej tożsamości i wzbogacają nasz związek ze światem. Duch twórczy, który już od dawna wyciosywał figurki, kolorował ściany jaskiń i tworzył opowieści, był przygotowany do wzlotu.

Wspaniałe umysły – rzadkie, ale pojawiające się w każdym czasie, wszystkie ukształtowane przez naturę, a niektóre przez wyobrażoną boską inspirację – odkrywały nowe sposoby wyrażania tego, co transcendentne. Ich twórcze odyseje wyrażały różne prawdy, niezależne od pochodzenia i niewymagające uzasadnienia, dające głos definiującym ludzką naturę cechom, które pozostają uśpione aż do momentu ich doświadczenia.

Aby tworzyć

Zrozumienie wzorców należy do naszych najważniejszych umiejętności przetrwania. Jak już wielokrotnie widzieliśmy, obserwujemy wzorce, doświadczamy ich, a co najważniejsze, z nich się uczymy. Oszukaj mnie raz, powinieneś się wstydzić. Oszukaj mnie powtórnie, to może za wcześnie, aby się samemu zawstydzić, ale za trzecim lub czwartym razem takie przeniesienie odpowiedzialności jest uzasadnione. Uczenie się na wzorcach to talent podstawowy dla przetrwania odciśnięty przez ewolucję na naszym DNA. Obcy wpadający do nas z wizytą na Ziemię mogą mieć inną biochemię, ale prawdopodobnie bez trudu zrozumieją tę myśl; analiza wzorców, prawie na pewno, jest też podstawą tego, że dominują.

Niemniej jednak taka międzygalaktyczna wymiana może nie być doskonałym spotkaniem umysłów. Niektóre z naszych cenionych wzorców mogą zaskakiwać odwiedzających nas obcych. Ułożenie poszczególnych pigmentów na białym płótnie lub odpowiednie wyszczerbianie bloków marmuru bądź wytwarzanie szczególnych wibracji przez poruszające się cząsteczki powietrza – co daje określone wzory światła, tekstury i dźwięku – a po działaniu takich wzorców my, ludzie, czujemy rzeczywistość w tak wyjątkowy sposób, w jaki jej nie czujemy codziennie. Przez krótki, ale na pozór bezkresny moment wyczuwamy, że nasze miejsce w świecie zmienia się tak, jakbyśmy zostali przeniesieni do innej sfery. Jeśli obcy mieli tego typu doświadczenia, dostają to, o czym mówimy. Kiedy zaś opowiemy o naszych wewnętrznych reakcjach na twórczość, istnieje szansa, że będą się na nas gapić obojętnie. A ponieważ język może tak dokładnie opisywać te doznania, obcy mogą mieć bzdurny wyraz twarzy, kiedy spojrzą na różne kontynenty i zobaczą wielką liczbę osobników naszego gatunku, niektórych w pojedynkę, innych w grupach, w skupieniu wchłaniających, stukających i kręcących się, gdy zagłębiają się w domeny sztuki i muzyki.

Zaniepokojeni naszą reakcją na ekspresję artystyczną obcy mogą być równie zaskoczeni, a może jeszcze bardziej, tworzeniem takich dzieł. Pusta strona. Nieskazitelne płótno. Nieforemna bryła marmuru. Bryła gliny. Nienapisana partytura, która oczekuje na inspirację kompozytora albo po skomponowaniu oczekująca zagrania. Albo zaśpiewania. Albo zatańczenia. Niektórzy osobnicy naszego gatunku spędzają dni i noce, wyobrażając sobie kształty, by wydobyć je z bezkształtu, i dźwięki, by wlać je w ciszę. Niektórzy z nich poświęcają całą swoją energię życiową na realizację tych twórczych wizji, tworząc wzorce w przestrzeni i czasie, które mogą być czczone, budzić odrazę, mogą być ignorowane lub uznawane za sedno egzystencji. „Bez muzyki – powiedział Friedrich Nietzsche – życie byłoby błędem”[226]. I, jak mówi Ecrasia u George’a Bernarda Shawa, „bez sztuki surowość rzeczywistości uczyniłaby świat nie do zniesienia”[227]. Ale co pobudza wyobraźnię? Czy jest ona katalizowana przez instynkty behawioralne ukształtowane przez dobór naturalny? Czy też od dawna poświęcamy cenne zasoby czasu i energii na

artystyczne poszukiwania, które nie mają większego związku z przetrwaniem i reprodukcją?

Zostajemy wydani na świat bez zasięgnięcia naszej opinii. A kiedy już tu się pojawiamy, otrzymujemy pozwolenie na przyjęcie życia tylko na chwilę. Jakże podnosi na duchu uchwycenie wodzów fantazji i formowanie czegoś, co kontrolujemy, czegoś, co jest tylko nasze, czegoś, co jest odbiciem tego, jakimi sami jesteśmy, czegoś, co wyraża nasze osobisty pogląd na ludzką egzystencję. Chociaż wielu z nas rezygnowałoby z możliwości zamiany miejsc z Szekspirem czy Bachem, Mozartem czy van Goghiem, Dickinson czy O'Keeffe, to znaleźliby się tacy, którzy skorzystaliby z okazji, by uzyskać ich twórczy kunszt. Aby oświetlić rzeczywistość własnym światłem, aby poruszyć świat dziełami, które są wytworem ich szczególnego uporządkowania molekularnego, aby dostarczyć doznań, które wytrzymają próbę czasu – cóż, wszystko to brzmi bardzo romantycznie. Dla niektórych jest to magia procesu twórczego, niepohamowany pęd do wyrażania siebie. Inni widzą to jako okazję do podniesienia swojego statusu i zdobycia szacunku. Dla jeszcze innych to ukłon w stronę wieczności; nasze artystyczne kreacje, jak powiedział kiedyś Keith Haring, są „poszukiwaniem nieśmiertelności"[228].

Gdyby tworzenie i podziwianie dzieł wyobraźni było niedawnym dodatkiem do ludzkich zachowań lub gdyby te działania były rzadko praktykowane w całej historii ludzkości, jest mało prawdopodobne, aby ujawniały one uniwersalne cechy wyewoluowanej ludzkiej natury. Ostateczne pewne obiekty – takie jak spodnie dzwony i smażone banany – mają źródło w przypadkowych dziwactwach i dlatego wydobycie szczegółów ich rodowodu daje jedynie ograniczone wyjaśnienie. Faktem jednak jest, że daleko w przeszłości i na wielu zamieszkanych ziemiach śpiewaliśmy i tańczyliśmy, komponowaliśmy i malowaliśmy, rzeźbiliśmy i pisaliśmy. Obrazy w jaskiniach i wyszukane przedmioty pochówku, o czym pisałem w poprzednim rozdziale, pochodzą sprzed 30 albo nawet 40 tysięcy lat. Wyryte obrazy i artefakty, które świadczą o artystycznej ekspresji, zostały odkryte kilkaset tysięcy lat wcześniej[229]. Mamy do czynienia z zachowaniem, które jest wszechobecne, a jednak,

w przeciwieństwie do jedzenia i picia oraz prokreacji, kryje w sobie wartość umożliwiającą przetrwanie.

W świetle współczesnej wrażliwości może to nie być zastanawiające. Doświadczenie dzieła, które ożywia duszę lub porusza do łez, to wyjście poza szarość codzienności, a kto nie byłby zachwycony takim przeżyciem? Tak jak w przypadku powierzchownej obserwacji, że jemy lody, ponieważ lubimy słodkie rzeczy, to wyjaśnienie skupia się wyłącznie na naszych bliższych reakcjach, a zatem ogranicza się do najbardziej bezpośredniego impulsu dla twórczych skłonności. Czy możemy głębiej to zbadać? Czy możemy się dowiedzieć, dlaczego nasi przodkowie tak chętnie porzucali całkiem realne wyzwania związane z przetrwaniem i poświęcali cenny czas i energię kreatywności wyobraźni?

Seks i sernik

Kiedy omawialiśmy zdolność do opowiadania u naszych wczesnych braci, rozważaliśmy podobne pytanie, a najbardziej przekonująca odpowiedź przywołała metaforę symulatora lotu: przez twórcze wykorzystanie języka doświadczamy znanych i nieznanych doznań, co poszerza horyzonty i doskonali nasze reakcje na to, co napotykamy w świecie realnym. Opowiadając i słuchając opowieści oraz upiększając je i powtarzając, bawimy się różnymi możliwościami i nie ponosimy żadnych konsekwencji. Podążamy drogą, która zaczyna się od „Co, jeśli?” i dzięki rozumowi oraz fantazji prowadzi do bogactwa możliwych rezultatów. Nasze umysły swobodnie wędrują po krajobrazie wyimaginowanych doświadczeń, odkrywając na nowo zwinność myśli, która, prawdopodobnie, okazała się cenną pomocą w przetrwaniu.

Gdy rozważamy bardziej abstrakcyjne formy sztuki, wyjaśnienie to trzeba ponownie zanalizować. Czym innym jest wyobrażenie sobie umysłu kultywującego ideały odwagi i bohaterstwa przez przykuwające uwagę opowieści o wygranych z trudem bitwach lub fascynujące relacje o niebezpiecznych podróżach. Z pozoru czymś innym jest twierdzenie, że umysł ćwiczył nabytą tkankę mięśniową,

słuchając plejstoceńskich Edith Piaf czy Igora Strawińskiego. Na pozór w świecie przodków zieje ogromna przepaść między doznawaniem muzyki – czy też malarstwa, tańca lub rzeźby – a pokonywaniem napotykanych wyzwań.

Sam Darwin, motywowany słynną ewolucyjną zagadką ogona pawia, brał pod uwagę potencjalną funkcję adaptacyjną wrodzonych uzdolnień artystycznych. Duży i jaskrawo zabarwiony ogon sprawia, że ukrycie się jest dla ptaka wyzwaniem, a gdy jest ścigany przez szybkiego drapieżnika, stanowi przeszkodę w czasie ucieczki. Dlaczego taka wielka, piękna, ale pozornie nieodpowiednia dla adaptacji struktura miałaby ewoluować? Rozwiązanie, do którego po wielu wątpliwościach doszedł Darwin, jest takie, że w walce o przetrwanie ów ogon może być kulą u nogi, ale jest on istotną częścią strategii reprodukcyjnej pawia. Ogon pawia za atrakcyjny uważamy nie tylko my, ludzie. Pawice też. Przyciągają je sprężyste pióropusze, a więc im bardziej imponujący jest ogon, tym większe prawdopodobieństwo, że paw znajdzie partnerkę. Powstałe w ten sposób potomstwo z kolei ma duże szanse odziedziczyć cechy taty i gusta mamy, kontynuując wojnę genetyczną, w której walki wygrywa się nie przez zdobywanie większych zasobów pożywienia czy zapewnienie większego bezpieczeństwa, ale przez posiadanie jeszcze bardziej olśniewających ogonów.

Jest to przykład *doboru płciowego*, darwinowskiego mechanizmu ewolucyjnego, którego tryby napędza dostęp do reprodukcji. Paw, który umiera młodo, nie będzie mógł się rozmnażać, właśnie dlatego dobór naturalny sprzyja tym, którzy przeżywają. To samo niepowodzenie reprodukcyjne spotka pawia, który rozwija się pomyślnie i żyje długo, a mimo to jest odrzucany przez wszystkie potencjalne partnerki. Aby wpłynąć na biologię kolejnych pokoleń, przetrwanie jest konieczne, ale niewystarczające. Ważne jest posiadanie potomstwa, a więc cechy sprzyjające kojarzeniu się wybiórczo będą mieć przewagę, czasem nawet kosztem bezpieczeństwa[230]. Takie koszty nie mogą jednak być astronomiczne – jest granica nieporęczności ogona, gdy zagrozi ona wręcz przetrwaniu – ale zawsze cenę trzeba płacić. Skoro ogon pawia jest sprawdzającym się przykładem, to podobne uwarunkowania można

znaleźć u bardzo wielu gatunków. Manakiny białobrode dumnie kroczą w hałaśliwych tańcach, aby przywabić potencjalne partnerki; robaczki świętojańskie mają hipnotyczne zachowania godowe polegające na finezyjnych pokazach błysków światła; samce altanników konstruują skomplikowane legowiska, splatając gałązki, liście, muszle, a nawet kolorowe opakowania cukierków, co najwyraźniej służy uwiedzeniu przyszłej partnerki[231].

Kiedy Darwin po raz pierwszy opisał dobór płciowy w swojej dwutomowej książce z 1871 roku *O pochodzeniu człowieka i doborze w odniesieniu do płci*, propozycja ta nie cieszyła się natychmiastowym powodzeniem. Wielu jemu współczesnym wydawało się nie do pomyślenia, że zachowanie w brutalnym świecie zwierząt może zależeć od reakcji estetycznych[232]. Nie chodziło o to, że Darwin wyobrażał sobie ptaki lub żaby zagubione w poetyckiej zadumie, wpatrujące się w czerwone promienie słońca, gdy zanurza się ono pod horyzont. Zmysł estetyczny, o którym mówił, służył wyłącznie doborowi podczas łączenia się w pary. Mimo to przypisanie przez Darwina „upodobania piękna”[233]dużej części królestwa zwierząt wydawało się nonszalancją. Do licha, dla Alfreda Russela Wallace’a, który postrzegał ludzką wrażliwość estetyczną jako dar Boga, było to niestosowne[234].

Jeśli zaś nie odwołujemy się do wrodzonej wrażliwości na piękno, to jak wytłumaczyć bogate ozdoby ciała, twórcze pokazy i fizyczne konstrukcje, które są integralną częścią niezliczonych rytuałów godowych rozgrywających się w królestwie zwierząt? Cóż, jest mniej wzniosłe podejście. Jeszcze raz weźmy pod uwagę ogon pawia. Podczas gdy my, ludzie, możemy docenić estetykę upierzenia pawia, to u pawicy może on wzbudzić instynktowną reakcję o dużym znaczeniu genetycznym. Pawie ozdobione olśniewającym upierzeniem są silne i zdrowe, co zwiększa prawdopodobieństwo, że spłodzą odporne potomstwo. A ponieważ pawice, podobnie jak samice większości gatunków, mogą płodzić znacznie mniej potomstwa niż ich samce, wykształciły szczególnie silne upodobanie do zdrowych samców; takie związki zwiększają skuteczność każdego zapłodnienia wymagającego przecież zużycia cennych zasobów genetycznych[235]. Bogate upierzenie jest widoczną oznaką siły

i wigoru potencjalnego partnera, dlatego też pawice skuszone takimi ogonami mają większą szansę na spłodzenie zdrowych piskląt. Z kolei pisklęta pawia będą obdarzone właśnie tymi genami, które powodują pożądanie lub posiadanie wspaniałego upierzenia, co sprzyja rozprzestrzenianiu się tych cech na przyszłe pokolenia. Uroda w tej analizie doboru płciowego to o wiele więcej niż rzecz przemijająca. Uroda to publicznie dostępne referencje świadczące o nabytej sprawności fizycznej potencjalnego partnera.

W obu przypadkach – niezależnie od tego, czy wybór partnera spowodowany został wrażliwością estetyczną, czy też wynika z oceny stanu jego zdrowia – wynikające preferencje uzasadniają kosztowne cechy cielesne i behawioralne stanowiące wątpliwą korzyść dla przetrwania. Ponieważ opis ten, jak się wydaje, ma zastosowanie do długoletnich i przede wszystkim uniwersalnych praktyk artystycznych naszego gatunku, być może dobór płciowy daje wyjaśnienie. Darwin tak właśnie myślał. Odwołał się on do doboru płciowego, aby wyjaśnić ludzkie zamiłowanie do przekłuwania różnych części ciała i tatuowania go, a także zasugerował, że potężna reakcja, jaką może wywołać muzyka, jest wynikiem ewolucyjnego kształtowania ludzkich pieśni godowych przez dobór płciowy. Mężczyźni, którzy potrafili najlepiej śpiewać lub tańczyć, lub mieli najbardziej ponętne tatuaże lub najbardziej zdobiony przyodziewek, mogli zostać wybrankami najwybredniejszych kobiet i tym samym bez trudu spłodzić artystycznie uzdolnionych potomków. Podczas spotkania chłopca z dziewczyną talent artystyczny mógł decydować o tym, czy chłopiec powracał do domu sam.

Niedawno psycholog Geoffrey Miller, a także filozof Denis Dutton rozwinęli bardziej ten punkt widzenia, sugerując, że zdolności artystyczne mogą służyć za wskaźnik sprawności fizycznej, który jest starannie badany przez wymagające kobiety[236]. Fachowo wykonane artefakty, pokazy twórcze i energiczne przedstawienia nie tylko demonstrują umysł i ciało dające supermoc, lecz także świadczą o tym, że artysta jest hojnie obdarzony tym, co jest potrzebne do przetrwania. Przecież tylko dzięki posiadaniu zasobów materialnych i sprawności fizycznej artysta mógł sobie pozwolić na rozrzutność energii i czasu na podjęcie działań, które nie umożliwiają

przetrwania. (Artyści plejstoceńscy najwyraźniej nie byli wcale głodni). W tym ujęciu przedsięwzięcia artystyczne stanowią samopromującą się strategię marketingową, która skutkuje związkami między utalentowanymi artystami i wykwintnymi partnerkami, dającymi potomstwo najprawdopodobniej obdarzone podobnymi cechami.

Dobór płciowy jako siła napędowa ewolucji działalności artystycznej człowieka jest zagadnieniem intrygującym, które wywołało więcej sporów niż zgody. Naukowcy poruszali wiele kwestii: Czy talent artystyczny jest rzetelnym sygnałem zdrowia fizycznego? Czy zdolności artystyczne mogą być tak splecione z wrodzoną inteligencją i kreatywnością, cechami o niepodważalnej wartości dla przetrwania, że upodobania artystyczne rozprzestrzeniają się przez dobór naturalny bez potrzeby odwoływania się do doboru płciowego? Jak teoria ta wyjaśnia działania artystyczne kobiet, skoro dobór płciowy skupia się na artystach płci męskiej? Co być może najtrudniejsze – publiczne zaangażowanie w działania artystyczne w okresie plejstocenu, jak również rytuały i zwyczaje godowe tej epoki w dużej mierze leżą w sferze przypuszczeń. Oczywiście, podboje miłosne Luciana Freuda i Micka Jaggera mogą być legendarne, ale jakie, jeśli już, znaczenie mają osobowość sceniczna lub zdolności artystyczne dla dostępu reprodukcyjnego w erze wczesnych hominidów? W świetle tych obaw Brian Boyd zaproponował przemyślane podsumowanie: „Dobór płciowy w odniesieniu do sztuki był tylko dodatkowym biegiem, ale nie silnikiem”[237].

Steven Pinker sugeruje zupełnie inne spojrzenie na adaptacyjną użyteczność sztuki. W cytowanym często przez zwolenników i krytyków fragmencie argumentuje, że wszystkie dziedziny sztuki z wyjątkiem kunsztu językowego są równoznaczne pozbawionym wartości odżywczych deserom serwowanym ludzkim mózgom owładniętym obsesją wzorców. Podobnie jak „sernik zwala zmysłowo z nóg, jak nic innego w świecie przyrody, ponieważ jest miksturą końskich dawek przyjemnych bodźców, które przyrządzamy w wyraźnym celu naciśnięcia naszych guzików rozkoszy”[238], sztuka, według Pinkera, to adaptacyjnie bezużyteczne kreacje tworzone

w celu sztucznego pobudzania zmysłów, które ewoluowały, aby promować sprawność naszych przodków. To nie jest osąd wartościujący. Ostre argumenty Pinkera, pełne aluzji kulturowych, jasno pokazują, że ma on głębokie przywiązanie do sztuki. Natomiast jest to raczej bezstronna ocena tego, czy sztuka odegrała rolę w jednym konkretnym zadaniu: wzmocnieniu szansy, że w naszym kręgu rodowym to geny naszych przodków zostaną przekazane kolejnym pokoleniom, a nie naszych kuzynów, nieudolnych, niemuzykalnych, lewonożnych ignorantów. I właśnie w tym jednym przypadku, jak twierdzi Pinker, sztuka jest nieistotna.

Ewolucja z pewnością nakłaniała nas do mnóstwa zachowań mających na celu zwiększenie sprawności biologicznej, od znalezienia pożywienia, łączenia się w pary, zapewnienia bezpieczeństwa zawieraniem sojuszy, odpierania przeciwników do uczenia potomstwa. Dziedziczne zachowania, które przeciętnie skutkowały większym sukcesem reprodukcyjnym, rozpowszechniły się na szeroką skalę i stały się mechanizmem przynoszącym oczekiwane efekty podczas pokonywania określonych wyzwań adaptacyjnych. W kształtowaniu niektórych z tych zachowań jedną z marchewek oferowanych przez ewolucję była przyjemność: jeśli uznasz, że jakieś zachowania sprzyjające przetrwaniu są przyjemne, będziesz miał większe szanse na ich przyjęcie. I ze względu na ich właściwości promujące przetrwanie te zachowania będą zwiększać prawdopodobieństwo, że pożyjesz wystarczająco długo, aby się rozmnożyć, obdarzając przyszłe pokolenia podobnymi skłonnościami behawioralnymi. Ewolucja wytwarza w ten sposób zbiór pętli sprzężenia zwrotnego dodatniego, które sprawiają, że przyjemne są zachowania zwiększające sprawność fizyczną. W opinii Pinkera sztuka przecina pętle sprzężenia zwrotnego, odcina korzyści adaptacyjne i bezpośrednio stymuluje nasze centra przyjemności, dając satysfakcjonujące doświadczenia, które z punktu widzenia ewolucji są niezasłużone. Podoba nam się uczucie, jakie wywołuje sztuka, ale ani tworzenie, ani doświadczanie jej nie czyni nas bardziej dostosowanymi lub atrakcyjnymi. Z punktu widzenia przetrwania sztuka jest niezdrowym pokarmem.

Muzyka jest dla Pinkera idealnym przykładem, gatunkiem sztuki, którego adaptacyjną nieistotność opisuje on najpełniej. Sugeruje mianowicie, że muzyka jest pasożytem słuchu, swobodną jazdą na emocjach wywołanych przez zmysł słuchu, które dawno temu dawały jakąś wartość w dziele przetrwania naszym przodkom. Na przykład dźwięki, których częstości są harmoniczne (częstości, które są wielokrotnością wspólnej częstości), wskazują na jedno możliwe do zidentyfikowania źródło (fizyka dowodzi, że gdy obiekt liniowy drga – czy są to struny głosowe drapieżnika, czy broń wykonana z wydrążonej kości – częstości drgań tworzą ciąg harmoniczny). Ci z naszych przodków, którzy na takie dźwięki reagowali z przyjemnością, poświęcali im więcej uwagi i tym samym zyskiwali większą świadomość swojego otoczenia. Zwiększona rozpoznawalność przechylała szalę przetrwania na ich korzyść, poprawiając samopoczucie i promując dalszy rozwój wrażliwości słuchowej. Większa wrażliwość na inne, bogate w informacje dźwięki, od grzmotów przez odgłosy kroków aż po łamiące się gałęzie, jeszcze bardziej wyostrzała ich uwagę i tym samym jeszcze bardziej zwiększała świadomość środowiska. I tak ci z naszych przodków, którzy mieli większą wrażliwość na dźwięki, zyskali przewagę sprawności, co sprzyjało rozprzestrzenianiu się tej wrażliwości na kolejne pokolenia. Według Pinkera muzyka tworzy z tej wrażliwości na dźwięki zmysłową przyjemność, która nie ma wartości adaptacyjnej. Tak jak sernik sztucznie stymuluje naszą dawną adaptacyjną preferencję do żywności o dużej kaloryczności, tak samo muzyka sztucznie stymuluje naszą dawną adaptacyjną wrażliwość na dźwięki przenoszące informacje.

Zestawienie przez Pinkera grzesznej przyjemności z wyrafinowanym doznaniem jest zaskakujące. Celowo. Nie chodzi o to, by dyskredytować nasze doznania związane ze sztuką, ale by poszerzać nasze przypisanie znaczenia. Z pewnością jest coś w pełni satysfakcjonującego w identyfikacji ewolucyjnej podstawy tego czy innego ludzkiego zachowania, mającego nieusuwalny znak aprobaty odciśnięty w naszym DNA. Jak satysfakcjonujące jest wyobrażenie sobie, że sztuka, uważana przez wielu za jedno z najbardziej wysławianych osiągnięć ludzkości, odegrała istotną rolę

w przetrwaniu naszego gatunku? Jakkolwiek przyjemne, takie wyjaśnienie nie musi być prawdziwe. Ani konieczne. Biologiczna adaptacja nie jest jedyną miarą wartości. Równie wspaniałe jest to, że możemy wznieść się ponad znój przetrwania i używać wyobraźni do wyrażenia czegoś pięknego, niepokojącego lub przejmującego. Znaczenie nie wymaga adaptacyjnej użyteczności. Lata temu podczas rodzinnego obiadu w miejscowej restauracji, gdy kelner podał sernik na stojący obok stolik, moja mama, która ciągle była na diecie, poczuła się zmuszona wstać i zasalutować w geście szacunku, który dotyczył nie tylko samego deseru, lecz także ludzkich zachowań, które zdaniem Pinkera spowodowały adaptacyjną klasyfikację tego deseru.

Wyobraźnia i przetrwanie

Uznanie, że sztuka nie musi mieć adaptacyjnej użyteczności, nie zniechęciło badaczy do dalszego poszukiwania prostych darwinowskich wyjaśnień dla jej trwałości i wszechobecności. Wyjaśnień, to znaczy prób bezpośredniego powiązania działań artystycznych z przetrwaniem naszych przodków. W tym pościgu antropolog Ellen Dissanayake podkreśliła potrzebę rozważania sztuki w kontekście całości życia naszych przodków, argumentując, że w całej historii ludzkości sztuka, a także religia nie były dodatkowymi rozrywkami, „którym oddawano się od rana jednego dnia w tygodniu lub gdy nie było nic innego do zrobienia, ani nie były takimi zajęciami, których mogło w ogóle nie być”[239]. Bez względu na to, czy zjeżdżaliśmy w głąb podziemi, aby ozdobić ścianę jaskini, czy żeby w transie szaleńczo bębnić, tańczyć i śpiewać, sztuka, podobnie jak religia, była wpleciona w gobelin starożytnego życia. I tam leży jej potencjalna adaptacyjna rola.

Jeżeli obcy odwiedzali paleolityczną ziemię i robili zakłady, kto będzie wieść prym milion lat później, na gatunek *Homo* pewnie niewielu stawiało. Jednak dzięki połączeniu tężyzny fizycznej i inteligencji byliśmy w stanie zwyciężyć inne formy życia, które były większe, silniejsze i szybsze, jak również te obdarzone bardziej

wyrafinowanym zmysłem powonienia, wzroku i słuchu. Zwyciężyliśmy, oczywiście dlatego, że jesteśmy zaradni i kreatywni, ale przede wszystkim dlatego, że jesteśmy istotami wyjątkowo społecznymi. We wcześniejszych rozdziałach omówiliśmy wiele mechanizmów, od opowiadania historii przez religię po teorię gier, które ułatwiały nam działania kolektywne. Ponieważ jednak takie zachowania są równie złożone, jak i ważne, poszukiwanie jednego wyjaśnienia może zawężać istotę zagadnienia. Przeróżne amalgamaty tych mechanizmów mogą okazać się ważne dla wyjaśnienia działań kolektywnych i jak zasugerowała Dissanayake i inni badacze, listę prospołecznych działań należy rozszerzyć o sztukę.

Jeśli mamy pewność, że każde z nas rozumie i przewiduje emocjonalne reakcje innych – nawet jeśli mamy do czynienia z nieznanym dotąd wyzwaniem i poszukujemy nowych możliwości stawienia mu czoła – to mamy większe szanse, gdy współpracujemy ze sobą. Sztuka mogła mieć zasadnicze znaczenie dla osiągnięcia tego celu. Gdyby każdy w naszej grupie często uczestniczył w tych samych rytuałach łączących wszystkich w jedność energicznym rytmem, melodią i ruchem, to zostałoby w nas wytworzone poczucie wspólnoty. Każdy, kto brał udział w grupowym bębnieniu, śpiewie i tańcu, zna to uczucie; jeśli nie, to gorąco polecam tego spróbować. Intensywne i na pierwszy rzut oka wywierające wrażenie te wspólne wzruszające epizody łączą nas w jeszcze bardziej zaangażowaną wspólnotę. Jak podkreślił filozof Noël Carroll, „Sztuka polega na prowokowaniu i kształtowaniu emocji, tak aby jednoczyć uczestników kultury będących pod jej wpływem”[240]. I rzeczywiście, samo pojęcie kultury – zbiór tradycji, zwyczajów i punktów widzenia – opiera się na wspólnym dziedzictwie działalności artystycznej i doświadczenia. Członkowie takich połączonych emocjonalnie grup mieli większe szanse na przetrwanie i przekazanie w genach kolejnym pokoleniom tendencji do takich zachowań.

Gdyby więc ktoś pozostał niewzruszony wobec spójności grupy jako wyjaśnienia zjawiska religii, z pewnością tak samo pozostanie niewzruszony wobec spójności grupy jako wyjaśnienia zjawiska sztuki. Jednak tak samo jak w poprzednim omówieniu zjawiska

religii, nie musimy skupiać się wyłącznie na grupach. Sztuka bezpośrednio mogła mieć adaptacyjną użyteczność dla jednostki, co uważam za szczególnie istotne. Stanowi ona arenę nieograniczaną bezwzględną prawdą i codzienną fizyczną rzeczywistością, pozwalając umysłowi na karkołomne wyobrażenia, gdy bada wszelkiego rodzaju nowości. Umysł, który wytrwale trzyma się tego, co prawdziwe, bada zupełnie ograniczoną sferę możliwości. Natomiast taki, który przyzwyczaja się do swobodnego przekraczania granicy między tym, co rzeczywiste, a tym, co wyobrażone – jednocześnie cały czas zachowując klarowne pojęcie, co jest czym – jest zdolny do zerwania więzi konwencjonalnego myślenia. Taki umysł jest stworzony do innowacji i wykazuje pomysłowość. Historia dowodzi, że to oczywisty wniosek. Wiele z największych przełomów w nauce i technice zawdzięczamy jednostkom, które charakteryzowały się giętkością umysłu umożliwiającą im spojrzenie z innego punktu widzenia na zagadnienia nierozwiązane przez pokolenia poprzednich myślicieli.

Zasadniczy krok Einsteina w kierunku teorii względności nie był spowodowany przez nowe eksperymenty czy dane. Pracował nad faktami – dotyczącymi elektryczności, magnetyzmu i światła – które były już znane. Natomiast odważnym posunięciem Einsteina było uwolnienie się od szeroko rozpowszechnionego założenia, że przestrzeń i czas są niezmienne, co pociąga za sobą to, że prędkość światła musi być zmienna, a w to miejsce wyobrażenie sobie, że prędkość światła jest niezmienna, co pociąga za sobą zmienność przestrzeni i czasu. To podobne do sloganu podsumowanie nie ma na celu objaśnienia szczególnej teorii względności (odsyłam na przykład do rozdziału 2 mojej książki *Piękno Wszechświata*), ale raczej zwrócenie uwagi na to, że odkrycie to polegało na wyobrażeniu sobie prostej, ale zasadniczej reorganizacji klocków Lego rzeczywistości, odwróceniu tak dobrze znanych symbolicznych wzorców, że większość umysłów zupełnie nie zwróciła na taką możliwość uwagi. Jest to taka odmiana twórczej inspiracji, która odpowiada najwyższemu poziomowi ekspresji artystycznej. W ocenie wybitnego pianisty Glenna Goulda geniusz Bacha przejawia się w jego zdolności opracowywania linii melodycznych, „które po

transponowaniu, odwróceniu lub transformacji rytmicznej będą jednak mieć (...) jakąś całkiem nową, ale w pełni harmoniczną charakterystykę”[241]. Geniusz Einsteina opierał się na podobnej i podobnie niesamowitej zdolności do rekonfiguracji podstawowych elementów wiedzy według nowego schematu, co sprawiało wrażenie, że są nowe w odniesieniu do koncepcji, które badano przez dziesięciolecia, jeśli nie wieki. To, że Einstein opisał swój proces intelektualny jako myślenie muzyczne i że często polegał na wizualizacjach wolnych od równań i słów, nie jest chyba aż tak zaskakujące. Sztuka Einsteina polegała na słyszeniu rytmów i dostrzeganiu wzorców, które ujawniały głęboką jedność działania rzeczywistości.

Ani teoria względności Einsteina, ani fugi Bacha nie należą do obiektów, które służą przetrwaniu. Jednak każda z nich to doskonały przykład tych ludzkich możliwości, które były niezbędne do tego, by przetrwać. Związek między zdolnościami naukowymi a rozwiązywaniem rzeczywistych wyzwań mógłby być bardziej widoczny, ale umysły, które rozumują analogią i metaforą, które wyobrażają kolorem i fakturą, melodią i rytmem, rozwijają się w bujniejszym krajobrazie poznawczym. To wszystko po to, aby tylko powiedzieć, że sztuka mogła być niezbędna dla rozwoju elastyczności myślenia i posługiwania się intuicją, których nasi odlegli w czasie krewni potrzebowali do zbudowania włóczni, odkrycia gotowania, wykorzystania koła, a później do napisania *Wielkiej Mszy h-moll*, a jeszcze później do zmiany naszego postrzegania przestrzeni i czasu. W ciągu setek tysięcy lat artystyczne wysiłki mogły być placem zabaw ludzkiej wyobraźni, stwarzając bezpieczną arenę do trenowania możliwości twórczych i zdolności do innowacji.

Zwróćmy również uwagę na to, że rozważane dotąd adaptacyjne role sztuki – potęgowanie innowacyjności i wzmacnianie więzi społecznych – działają w tandemie. Innowacja jest piechurem kreatywności. Spójność grupy jest już armią wdrożeń. Sukces w niekończącej się walce o przetrwanie wymaga obu: kreatywnych pomysłów, które są z powodzeniem wdrażane. To, że sztuka stoi na styku obu kategorii, sugeruje adaptacyjną rolę, wykraczającą poza zwykłe naciskanie guzików rozkoszy. Oczywiście, zdaniem wielu

badaczy, którzy nie zwracają wystarczającej uwagi na zdolność sztuki do kształtowania naszego zaangażowania w rzeczywistość, jest możliwe, że sztuka to adaptacyjnie błahy, ale bardzo przyjemny produkt uboczny dużego mózgu goszczącego kreatywny umysł. Brian Boyd wyraził to zwięźle: „Sztuka zasadniczo zmienia nasz stosunek do świata, doskonaląc i umacniając nasz instynkt społeczny, czyniąc nas bardziej przygotowanymi do korzystania z zasobów wyobraźni i podnosząc naszą wiarę w kształtowanie życia na własnych warunkach”[242].

Jestem zwolennikiem poglądu, że potęgowanie pomysłowości, wykorzystywanie kreatywności, poszerzanie światopoglądu i budowanie spójności stanowi model znaczenia, jakie sztuka miała dla doboru płciowego. Zgodnie z tym punktem widzenia sztuka z języka, opowieści, mitów i religii tworzy środki, za pomocą których umysł ludzki myśli symbolicznie, rozumuje kontrfaktycznie, wyobraża swobodnie i działa wspólnie. W miarę upływu czasu to właśnie te zdolności dały początek naszemu światu zdominowanemu przez kulturę, naukę i technologię. Mimo to jeśli ewolucyjną rolę sztuki jesteście skłonni widzieć w kremowych deserach, z pewnością możemy się jednak zgodzić, że w całej historii ludzkości obecność niezliczonych jej form była cenna. Oznacza to, że życie wewnętrzne i wymiana społeczna przyjęły takie formy aktywności, w których do informacji opartych na faktach przekazywanych za pomocą języka nie przykłada się wielkiej wagi.

Co mówi nam to o sztuce i prawdzie?

Sztuka i prawda

Mniej więcej dwadzieścia lat temu, pewnego słonecznego jesiennego dnia, pełnego liści zmieniających kolor na czerwony i ciemnopomarańczowy, gdy jechałem samotnie autostradą z Nowego Jorku do naszego rodzinnego domu w północnej części stanu, nagle w poprzek drogi chciał przebiec pies. Nacisnąłem hamulec, ale na chwilę przed zatrzymaniem samochodu poczułem okropne głuche uderzenie, a po nim kolejne, gdy przednie, a potem

tylne koła przejeżdżały po psie. Wyskoczyłem z samochodu, wsadziłem zwierzaka, przytomnego, ale ledwie ruszającego się, na fotel pasażera i wyruszyłem w drogę w poszukiwaniu weterynarza. Minutę później pies jakoś zdołał usiąść prosto. Położyłem lekko rękę na jego głowie, a on, odchylając się do tyłu, przycisnął ją swym ciałem do oparcia siedzenia. Zatrzymałem się. Pies spojrzał w górę z ogromnym napięciem we wzroku. Ból. Przerażenie. Rezygnacja. Wszystko to naraz. Potem, przyciskając mocniej moją rękę, jakby nie mógł znieść odejścia w samotności, skonał.

Miałem już zwierzęta domowe, które mi umarły, ale to było coś innego. Nagłe. Mocne. Gwałtowne. Z czasem szok ustąpił, ale ostatni moment pozostał we mnie. Moje racjonalne ja wiedziało, że nadaję przesadne znaczenie niefortunnemu, ale aż nazbyt powszechnemu zdarzeniu. Jednak przejście zwierzęcia przez granicę życia i śmierci, przypadkowe, choć z mojego powodu, aczkolwiek nieumyślne, miało na mnie niesamowity i niespodziewany wpływ. Niósł on ze sobą pewien rodzaj prawdy. Nie była to prawda wynikająca z logicznego myślenia. Nie chłodna, rzeczowa. Nic, co mógłbym konkretnie określić, ale w tym momencie poczułem, że coś się zmieniło w moim rozumieniu świata.

Mam niewielki zbiór innych doświadczeń, które w charakterystyczny dla siebie sposób pozostawiło we mnie podobne uczucie. Pamiętam wzięcie po raz pierwszy na ręce mojego pierworodnego dziecka; schronienie się w skalnej szczelinie na wzgórzach otaczających San Francisco podczas szalejącej nade mną wichury; występ mojej małej córki, gdy śpiewała solo na szkolnej imprezie; nagłe objawienie, które pozwoliło mi rozwiązać równanie opierające się miesiącom poprzednich prób; obserwowanie z brzegu rzeki Bagmati, jak nepalska rodzina dokonuje rytuału spalenia zwłok zmarłego członka rodziny; jazdę na nartach – nie, koziołkowanie po stoku o największej stromiźnie w Trondheim i przeżycie. Każdy ma taką własną listę doznań. Doznań, które skupiły na sobie naszą uwagę i wywołały reakcje emocjonalne, które cenimy nawet bez – a może z powodu braku – racjonalnego lub werbalnego opisu. Ciekawe, choć prawdopodobnie powszechne, jest to, że podczas gdy mój własny proces jest w pełni werbalny, nie mam ochoty zgłębiać tych doznań

słowami. Kiedy o nich myślę, nie odczuwam braku zrozumienia, które wymagałoby werbalnego objaśnienia. Poszerzają one mój świat bez potrzeby interpretacji. W tych chwilach mój wewnętrzny narrator wie, że nadszedł czas, by zrobić sobie przerwę. Badane życie nie musi być życiem wyartykułowanym.

Najsilniej oddziałująca sztuka może wywołać w nas rzadkie stany umysłu i ciała porównywalne z tymi, które budzą najbardziej poruszające doświadczenia z realnego świata i podobnie kształtują i wzmacniają nasze zaangażowanie w dociekanie prawdy. Dyskusja, analiza i interpretacja mogą głębiej kształtować te doświadczenia, ale najsilniejsi nie polegają na pośredniku językowym. W istocie nawet w przypadku sztuki opartej na przekazie werbalnym to właśnie obrazy i wrażenia w najbardziej poruszających doznaniach pozostawiają najtrwalszy ślad. Elegancko opisuje to poetka Jane Hirshfield: „Kiedy pisarz wprowadza do języka nowy obraz, który jest w pełni słuszny, to poszerza się wiedza o istnieniu”[243]. Laureat Nagrody Nobla Saul Bellow mówi również o tej niezwykłej zdolności sztuki: „Tylko sztuka przenika to, co duma, pasja, inteligencja i nawyk budują w każdym kierunku – pozorną rzeczywistość tego świata. Jest jeszcze jedna rzeczywistość, ta prawdziwa, której nie dostrzegamy. Ta inna rzeczywistość zawsze wysyła nam wskazówki, których bez sztuki nie sposób przyjąć”. I bez tej innej rzeczywistości, zauważa Bellow, przywołując myśli zanotowane przez Prousta, istnienie jest zredukowane do „terminologii praktycznych celów, które fałszywie nazywamy życiem”[244].

Przetrwanie polega na gromadzeniu informacji, które dokładnie opisują świat. A postęp, w konwencjonalnym sensie zwiększonej kontroli nad naszym otoczeniem, wymaga jasnego zrozumienia, jak te fakty są zintegrowane z działaniem natury. Takie są surowce do kształtowania celów praktycznych. Są one podstawą tego, co nazywamy prawdą obiektywną, która często kojarzy nam się z prawdą naukową. Jednak bez względu na to, jak obszerna może być taka wiedza, nie zawsze będzie ona w stanie udzielić wyczerpujących informacji na temat ludzkich doznań. Prawda artystyczna dotyka odrębnej warstwy; tworzy opowieści wyższego rzędu, które, jak mówi Joseph Conrad, „przemawiają do tej części

naszego jestestwa, która nie jest zależna od rozsądku", a raczej do „naszej zdolności zachwytu i zdziwienia, do poczucia tajemnicy otaczającej nasze życie; do poczucia litości, piękna i bólu; do ukrytego poczucia wspólnoty z całym światem (...) w snach, w radości, w smutku, w dążeniach, w iluzjach, w nadziei, w strachu (…) który łączy całą ludzkość – umarłych z żywymi i żywych z nienarodzonymi"[245].

Uwolniony od pozorów rzeczywistości i rozwijający się w ciągu tysiącleci instynkt twórczy intensywnie zgłębiał zakres emocjonalny wyznaczający wizję artystycznej podróży Conrada i kształtujący język potoczny, w którym prawdziwa rzeczywistość Bellowa szepcze do nas z bliska. Zwłaszcza pisarze stworzyli świat postaci, których fikcyjne życia są źródłem głębszych studiów nad życiem ludzkim. Odyseusz i napędzana zemstą i lojalnością podróż, Lady Makbet i pazury ambicji i poczucia winy, Holden Caulfield i nieposkromiony instynkt buntownika, Atticus Finch i siła cichego, ale niezachwianego heroizmu, Emma Bovary i tragedie ludzkiego związku, Dorotka i kręta droga odkrywania siebie – dogłębne zrozumienie różnorodnych doznań i artystycznych prawd, jakich te dzieła dostarczają, dodają cienia i wymiaru do skądinąd szorstkiego szkicu ludzkiej natury.

Dzieła wizualne i odbierane słuchem, w których język nie jest najważniejszy, zapewniają doznania bardziej impresjonistyczne. Jednak tak jak w przypadku ich literackich odpowiedników, mogą one wywoływać te same emocje, które, jak opisał to Conrad, są ponad wszelką mądrością; głosy zamieszkujące prawdziwą rzeczywistość Bellowa przemawiają do nas w różny sposób. Nie mogę słuchać *Totentanz* Ferenca Liszta bez instynktownego poczucia, że zdarzy się coś złego; *III Symfonia* Brahmsa wyczarowuje u mnie głęboką, niezaspokojoną tęsknotę; *Chaconne* Bacha jest apoteozą wzniosłości; finał *Ody do radości* z *IX Symfonii* Beethovena jest dla mnie i dla większości świata również jednym z najbardziej optymistycznych sygnałów, jakie ludzki gatunek kiedykolwiek wysłał. Dodajmy tu muzykę z tekstem: *Hallelujah* Leonarda Cohena z nieporównywalną autentycznością wychwala niedoskonałości życia; proste i wykwintne wykonanie *Over the*

Rainbow przez Judy Garland ujmuje czystą tęsknotą za młodością; *Imagine* Johna Lennona ucieleśnia prostą siłę wyobrażania sobie tego, co możliwe.

Podobnie jak w przypadku ważnych chwil życia, każdy z nas może przywołać na myśl dzieła literackie lub filmowe, rzeźbę lub choreografię, malarstwo lub muzykę, które w taki czy inny sposób nas poruszyły. Dzięki tym zniewalającym doświadczeniom pochłaniamy „megadawki" istotnych przymiotów ludzkiego życia na tej planecie. Nie dostarczając nam pustych kalorii, te spotęgowane doświadczenia pozwalają na zebranie spostrzeżeń, które byłyby trudne, o ile nie niemożliwe do zdobycia w inny sposób.

Poeta Yip Harburg, autor wielu klasycznych utworów, w tym *Over the Rainbow*, wypowiedział to prosto: „Słowa sprawiają, że myślisz myślami. Muzyka sprawia, że czujesz uczucia. Ale piosenka sprawia, że czujesz myśli"[246]. *Poczuj myśl*. Dla mnie to odzwierciedlenie istoty artystycznej prawdy. Jak podkreślał Harburg, myślenie jest intelektualne, uczucie jest emocjonalne, ale „odczuwanie myśli jest procesem artystycznym"[247]. Jest to obserwacja, która opiera się na połączeniu języka z muzyką, ale tak naprawdę ujarzmia sztukę w sensie bardziej ogólnym. Emocjonalne reakcje wywołane przez sztukę rozchodzą się po całym rezerwuarze wzburzonej myśli, która jest podstawą świadomego postrzegania. W przypadku dzieł bez słów doznania te są mniej ukierunkowane, a uczucia bardziej elastyczne. Jednak cała sztuka może sprawić, że czujemy myśli, jest zdolna pokazywać nam różnorodność prawdy, której najprawdopodobniej nie moglibyśmy oczekiwać od świadomego rozmyślania lub opartej na faktach analizy. Różnorodność prawdy, która w istocie nie ma nic wspólnego z mądrością. Ani z czystym rozsądkiem. Ani z logiką. Ani z potrzebą dowodu.

Nie popełnijmy błędu. Wszyscy *jesteśmy* workami cząstek – zarówno umysł, jak i ciało – a fakty fizyczne dotyczące cząstek mogą w pełni określić ich zachowanie i oddziaływania. Jednak takie fakty, narracja o cząstkach, rzucają tylko monochromatyczne światło na bardzo kolorowe opowieści o tym, jak my, ludzie, poruszamy się w złożonych światach myśli, postrzegania i emocji. A kiedy nasze postrzeganie łączy myśli i emocje, kiedy czujemy myśli i myślimy

nimi, nasze doświadczenie przekracza granice mechanistycznego wyjaśnienia. Uzyskujemy dostęp do światów inaczej niezbadanych. Jak podkreślił Proust, należy to wysławiać. Tylko przez sztukę, zauważył, możemy wejść do sekretnego wszechświata innego człowieka, jedynej podróży, w której prawdziwie „lecimy od gwiazdy do gwiazdy", podróży, w której nie da się nawigować „bezpośrednimi i świadomymi metodami"[248].

Chociaż Proust koncentruje się na sztuce, jego punkt widzenia współgra z moimi długoletnimi poglądami na temat współczesnej fizyki. „Jedyną prawdziwą podróżą odkrywczą – powiedział kiedyś – nie byłoby odwiedzanie obcych lądów, ale posiadanie innych oczu, widzenie wszechświata oczami innego człowieka, stu innych ludzi"[249]. My, fizycy, od wieków polegamy na matematyce i eksperymentach, aby zdobyć „drugie" oczy, aby odkrywać warstwy rzeczywistości nietknięte przez przeszłe pokolenia, aby umożliwić nam oglądanie znajomych krajobrazów w radykalnie nowy sposób. Dzięki tym narzędziom odkryliśmy, że najdziwniejsze z lądów pojawiły się dzięki dokładnemu przyjrzeniu się tym samym, od dawna zamieszkiwanym przez nas obszarom. Niemniej jednak, aby zdobyć taką wiedzę i bardziej ogólnie wykorzystać siłę nauki, musimy postępować zgodnie z niezachwianą dyrektywą, by nie zwracać uwagi na szczególne cechy tego, jak każdy z naszych odrębnych zbiorów cząstek i komórek pojmuje świat, i celować w obiektywne cechy rzeczywistości. Jeśli chodzi o resztę, prawdy wszechludzkie, nasze zagnieżdżone historie liczą na sztukę. Jak ujął to George Bernard Shaw: „Dzięki szklanemu zwierciadłu widzisz swoją twarz, dzięki dziełom sztuki widzisz swoją duszę"[250].

Nieśmiertelność poetycka

Niezbyt rzadko pytany jestem o ten jedyny fakt o Wszechświecie, który dla mnie jest najbardziej zadziwiający. Nie mam przygotowanej zawczasu odpowiedzi. Czasami sugeruję relatywistyczną giętkość czasu. Innym razem sugeruję splątanie kwantowe, to, co Einstein nazwał „upiornym działaniem na odległość". Czasami zaś upraszczam

i sugeruję coś, z czym większość z nas po raz pierwszy spotkała się w szkole. Kiedy patrzymy w górę na nocne niebo, widzimy gwiazdy takie, jakie były wiele tysięcy lat temu. Używając potężnych teleskopów, dostrzegamy znacznie bardziej odległe obiekty astronomiczne, takie jakie były one miliony lub miliardy lat temu. Niektóre z tych astronomicznych źródeł mogły już dawno umrzeć, a jednak nadal je widzimy, ponieważ światło, które dawno temu wyemitowały, jest nadal w drodze. Światło daje iluzję obecności. I to nie tylko dotyczy gwiazd. Niezakłócone, odbite promieniowanie przenosi twój i mój ślad przez dowolny obszar przestrzeni i czasu, poetycką nieśmiertelność pędzącą przez kosmos z prędkością światła.

Tu, na Ziemi, poetycka nieśmiertelność przybiera inną formę. Pragnienie utrzymania życia tak długo, jak długo chcemy, nie zostało zaspokojone, przynajmniej jeszcze, a być może nigdy nie będzie. Jednak umysł twórczy, zdolny do nieograniczonego błądzenia po wyobrażonych światach, może badać nieśmiertelność, meandrować przez wieczność i medytować nad tym, dlaczego pogardzamy nieskończonym czasem, poszukujemy go lub się boimy. Od tysiącleci artyści właśnie tak robią. Jakieś 2500 lat temu grecka poetka Safona opłakiwała nieuchronność zmian: „Wy, dzieci, ścigajcie fioletem okryte piękne dary Muz/i lirę o czystym tonie tak cenną dla śpiewu;/co do mnie – teraz zimny wiek zawładnął moim niegdyś czułym ciałem", miarkując żal opowieścią o Titonosie, śmiertelniku, któremu bogowie dali nieśmiertelność, ale nie zapewniając mu wiecznej młodości, zmusili do starzenia się przez wieczność. Ostatni wers, który pewni badacze uważają za prawdziwe zakończenie poematu – „Eros obdarzył mnie pięknem i blaskiem słońca" – sugeruje, że żarliwą pogonią za życiem, wyrażoną w swej poezji, Safona spodziewała się przezwyciężyć śmierć i osiągnąć ponadczasowy blask; dzięki swej poezji chciała zyskać symboliczną nieśmiertelność[251].

Jest to wersja schematu zaprzeczania śmierci, w którym my, śmiertelnicy, staramy się żyć dalej dzięki naszym bohaterskim osiągnięciom, wpływowemu wkładowi lub twórczości. Skala takiej nieśmiertelności wymaga antropocentrycznego dostosowania,

od wieczności do czasu trwania cywilizacji – jest to znaczny koszt, ale równoważony uznaniem, że w przeciwieństwie do jej dosłownego odpowiednika symboliczna wersja nieśmiertelności jest realna. Jedyną kwestią jest strategia. Które życie zostanie zapamiętane? Które prace będą trwały? I jak zapewnić, że nasze życie i nasze dzieła znajdą się wśród nich?

Około dwóch tysięcy lat po Safonie Szekspir zastanawiał się nad rolą sztuki i artysty w kształtowaniu tego, co zostało po nim zapamiętane. Podejmując temat epitafium, miał na myśli twórczość: „Kiedy wszyscy, co oddychają na tym świecie, umrą/Ty jeszcze będziesz żył, taką cnotę ma moje pióro" – jak sam twierdzi, to przywilej, którym on sam nie będzie się cieszył: „Twoje imię odtąd nieśmiertelne życie będzie miało/Choć ja, raz odszedłszy, dla całego świata muszę być martwy". Oczywiście, w tej grze do nas jest skierowane przesłanie: to słowa Szekspira będą czytane i recytowane, dlatego temat epitafium jest dla poety jedynie środkiem do osiągnięcia nieśmiertelności, aczkolwiek symbolicznej. Istotnie, wieki później, Szekspir żyje nadal.

Po opuszczeniu wiedeńskiego środowiska Freuda Otto Rank postawił tezę, że dążenie do symbolicznej nieśmiertelności jest głównym motorem ludzkich zachowań. W opinii Ranka impuls artystyczny odzwierciedla umysł przejmujący kontrolę nad własnym losem, mający odwagę tworzenia nowej rzeczywistości i podejmujący projekt ustawicznego kształtowania własnego ja. Artysta, chcąc zachować zdrowie psychiczne, akceptuje śmiertelność – musimy umrzeć, to wszystko, przebolejmy to – i przenosi pragnienie wieczności na formę symboliczną zawartą w jego dziełach. Ten punkt widzenia rzuca inne światło na banalne wyobrażenie męki artystycznej. Według Ranka uporanie się ze śmiertelnością przez tworzenie sztuki jest metodą utrzymywania zdrowia psychicznego. Jak podobnie opisał to pisarz i krytyk Joseph Wood Krutch: „Człowiek potrzebuje wieczności, o czym świadczy cała historia jego aspiracji; ale wieczność sztuki jest najprawdopodobniej jedynym jej rodzajem, jaki kiedykolwiek uzyska"[252].

Czyżby ta aktywność była tak dawna, że wyjaśniałaby, dlaczego przekierowaliśmy energię na działania, które nie zaspokajają najpilniejszych potrzeb w zakresie wyżywienia i schronienia? Czy może to wyjaśnić, dlaczego przez tysiąclecia poszukiwania artystyczne pozostawały głównymi wątkami wszystkich ludzkich kultur? Tak i jeszcze raz tak. Bez względu na to, czy wszechogarniająca wizja Ranka jest strzałem w dziesiątkę, czy też nie, możemy sobie wyobrazić, że nasi starożytni przodkowie, wyczuwając swoją śmiertelną naturę, marzą o tym, by uchwycić swój świat w czymś ponadczasowym, czymś, co jest ich autorstwa i pozostanie na zawsze trwałe. Możemy sobie również wyobrazić, że potrzeba skupienia się na czymś innym, co nie dotyczy przetrwania, z czasem wzmocniona przez wspólny zachwyt nad wyimaginowanymi przez artystę światami, jest wynikiem działalności ludzkiego umysłu.

Podczas gdy brak dowodów sprowadza analizę naszej odległej przeszłości do tez opartych na przypuszczeniach, w epoce nowożytnej napotykamy jedno dzieło za drugim, w którym autor rozmyśla o śmiertelności i wieczności[253]. Walt Whitman zastanawiał się nad ostatecznością śmierci: „Czy podejrzewasz śmierć? Gdybym miał podejrzewać śmierć, to powinienem umrzeć teraz./Czy uważasz, że mógłbym chodzić z przyjemnością gotów na unicestwienie? (…)/Przysięgam, że nie ma nic poza nieśmiertelnością!”. Dla Williama Butlera Yeatsa starożytne miasto Bizancjum było miejscem przeznaczenia, gdzie mógłby zostać wyzwolony z umierającego ciała i uwolniony od ziemskich trosk przejść do wieczności: „Zniszczcie moje serce; chore z pożądania/uwięzione w umierającym zwierzęciu /Nie wie ono, co to jest; i dajcie mi przekonać się/o sztuczce wieczności”[254]. Herman Melville wyjaśniał, że śmiertelność płynie razem z nami, nawet gdy wydaje się, że wzburzone wody opadają: „Wszyscy rodzą się z pętlą na szyi, ale śmiertelnicy zdają sobie sprawę z cichych, subtelnych, wszechobecnych zagrożeń życia tylko wtedy, gdy trafią w szybkie, nagłe objęcia śmierci”[255]. Edgar Allan Poe doprowadził zaprzeczenie śmierci do skrajności literackiej, przedstawiając najbardziej intymną relację ofiar walczących z nadchodzącym końcem: „Wrzeszczałem z przerażeniem: Wbiłem paznokcie w uda i zraniłem je; trumna była przesiąknięta moją

krwią; a rozrywając drewniane ściany mojego więzienia, z tym samym maniakalnym uczuciem boleśnie raniłem palce i paznokcie, które wkrótce zesztywniały ze zmęczenia”[256]. Tennessee Williams ustami Dużego Taty zauważył, że „niewiedza o śmierci – to psychiczny komfort. Człowiek go nie ma, bo jest jedyną żywą istotą, która rozumie śmierć”, a w konsekwencji „jeśli ma pieniądze, kupuje i kupuje, i kupuje, a jak myślę, powodem, dla którego kupuje wszystko, co może kupić, jest to, że w głębi duszy ma szaloną nadzieję, że jednym z jego zakupów będzie życie wieczne!”[257].

U Dostojewskiego Arkadiusz Swidrygajłow prezentuje inny punkt widzenia, znużony czcią, jaką wzbudza wieczność: „Wieczność jest dla nas pojęciem, którego nie można określić, czymś potężnym, wielkim! Dlaczego właśnie wielkim? A nuż zamiast tego wszystkiego, niech pan to sobie wyobrazi, jest tylko jedna izba, coś w rodzaju łaźni wiejskiej, zakopcona, z pająkami we wszystkich kątach, a nuż to właśnie jest wieczność. Wie pan, czasem wydaje mi się, że tak właśnie jest naprawdę”[258]. Podobne uczucia żywi Sylvia Plath: „O Boże, nie jestem taka jak ty /W twojej pustej czerni/Gwiazdy wbijają się wszędzie, głupie świecące konfetti/Wieczność mnie nudzi. Nigdy nie pożądałam jej”[259]. Bowerick Wowbagger, bohater Douglasa Adamsa, który przypadkowo stał się nieśmiertelny, planuje zaradzenie swej głębokiej nudzie przez systematyczne obrażanie wszystkich we Wszechświecie, jednego po drugim, w porządku alfabetycznym[260].

Ten wachlarz skłonności, od tęsknoty do lekceważenia, pokazuje poważniejszą kwestię: świadomość ograniczoności czasu nam danego doprowadziła sztukę do ekscytacji koncepcją wieczności. Badane życie bada zagadnienie śmierci. A dla niektórych badanie zagadnienia śmierci polega na uwolnieniu wyobraźni w celu podważania jej dominacji, kwestionowania jej prymatu, wyczarowywania domen, które są poza jej zasięgiem. Bez względu na to, jak intensywnie naukowcy spierają się o jej ewolucyjną użyteczność, rolę w tworzeniu społecznej spójności, niezbędny udział w innowacyjnym myśleniu i pozycję w panteonie pierwotnych instynktów, sztuka dostarcza nam najbardziej sugestywnych środków

do wyrażenia tego, co jest dla nas najważniejsze – a wśród tego jest życie i śmierć, to, co skończone, i to, co nieskończone.

Dla wielu, w tym dla mnie, najbardziej skoncentrowaną formą wyrazu jest muzyka. Muzyka w ciągu zaledwie kilku krótkich chwil może wywoływać takie wrażenie, jakbyśmy istnieli poza czasem. Wiolonczelista i dyrygent Pablo Casals pisał, że moc muzyki „nadaje duchowy wymiar zwyczajnym czynnościom, daje skrzydła wieczności temu, co najbardziej ulotne”[261]. Ten duchowy wymiar sprawia, że czujemy się częścią czegoś większego, czegoś, co instynktownie potwierdza conradowskie „niezwyciężone przekonanie o solidarności, które splata samotność niezliczonych serc”[262]. Muzyka prowokuje do więzi z kompozytorem lub ze słuchaczami, stwarzając abstrakcyjną duchową bliskość. I właśnie dzięki tej więzi doznawanie muzyki przekracza czas.

Kiedyś, pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku, w szkole publicznej nr 87 na Manhattanie trzecioklasiści w klasie pani Gerber zostali poproszeni o przeprowadzenie wywiadu z wybraną przez siebie osobą dorosłą i napisanie krótkiego raportu o zawodzie, który ta osoba wykonuje. Poszedłem na łatwiznę i przeprowadziłem wywiad z moim tatą – kompozytorem i wykonawcą, który lubił powoływać się na swoje wykształcenie. W połowie dziesiątej klasy mój tata porzucił książki i wyruszył w drogę, śpiewając, grając i występując w całym kraju. Minęło już ponad pół wieku od tego zadania ze szkoły podstawowej, ale o jednej rzeczy, którą wspomniał, nigdy nie zapomnę. Kiedy zapytałem, dlaczego wybrał muzykę, tata odpowiedział: „Żeby oddalić samotność”. Prędko przeszedł na jaśniejsze tony, bardziej pasujące do zadania z trzeciej klasy, ale ten nieocenzurowany moment był odkrywczy. Muzyka była całym jego życiem. Taka była jego wersja solidarności Conrada.

Niewielu kompozytorów porusza emocjonalnie świat. Mój tata nie znalazł się wśród nich, tę bolesną świadomość powoli zaczął akceptować. Melodie i rytmy pisane ręcznie na setkach stron pożółkłych rękopisów, wiele sprzed moich narodzin, nie interesują teraz nikogo poza rodziną. Jestem chyba jedyną osobą, która od czasu do czasu wciąż słucha ballad i pieśni oraz utworów fortepianowych, jakie komponował od lat czterdziestych

i pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Te kompozycje są dla mnie skarbem, łącznikiem, który pozwala mi czuć myśli mojego taty z czasów, gdy dopiero zaczynał wchodzić w świat.

Muzyka ma niezwykłą moc tworzenia tak głębokiego związku nawet między osobami niespokrewnionymi, żyjącymi w różnych czasach, zamieszkujących różne krainy. Poruszający opis pochodzi od Helen Keller, wyjątkowej bohaterki tej historii. 1 lutego 1924 roku stacja radiowa WEAF w Nowym Jorku transmitowała na żywo wykonywaną przez orkiestrę symfoniczną Nowego Jorku *IX Symfonię* Beethovena. W domu Helen Keller położyła ręce na membranie odsłoniętego głośnika radiowego i przez wibracje była w stanie wyczuć muzykę, doświadczyć tego, co nazywała „nieśmiertelną symfonią", a nawet wyróżnić poszczególne instrumenty. „Kiedy głos ludzki w przypływie harmonii wyróżnił się trelami, natychmiast to rozpoznałam. Poczułam, jak chór staje się coraz bardziej radosny, bardziej ekstatyczny, wznoszący ton szybko i płomiennie, aż prawie moje serce stanęło w miejscu". I wówczas, mówiąc głosem sięgającym w głąb duszy, niczym muzyka rozchodząca się w nieskończoność, podsumowuje:

> Gdy tak słuchałam, a ciemność i cień, melodia i dźwięk wypełniały pokój, nie mogłam oprzeć się wrażeniu, że wielki kompozytor, który wydał na świat taki powiew słodyczy, był głuchy tak jak ja. Zdumiewałam się mocą jego niezaspokojonego ducha, który ze swego bólu uczynił taką radość innym – i tak siedziałam, czując ręką wspaniałą symfonię, która rozlewała się jak morze na nieme brzegi jego i mojej duszy[263].

225 Howard Chandler Robbins Landon, *Beethoven: A Documentary Study*, Macmillan Publishing Co., Inc., Nowy Jork 1970, s. 181.

226 Friedrich Nietzsche, *Zmierzch bożyszcz, czyli jak filozofuje się młotem*, przeł. G. Sowiński, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2013.

227 George Bernard Shaw, *Back to Methuselah*, CreateSpace Independent Publishing Platform, Scotts Valley, CA 2012, s. 277.

228 David Sheff, *Keith Haring, An Intimate Conversation*, „Rolling Stone", nr 589 (sierpień 1989), s. 47.

229 Josephine C. A. Joordens i in., *Homo erectus at Trinil on Java used shells for tool production and engraving*, „Nature" 2015, nr 518, s. 228–231.

230 Ściślej mówiąc, liczy się to, że czyjeś geny rozmnażają się w następnym pokoleniu; cel ten można osiągnąć dzięki posiadaniu potomstwa lub zapewnieniu go innym osobom, które dzielą z tym kimś znaczną część genów.

231 Rytuały godowe manakinów białobrodych zostały bogato opisane w: Richard Prum, *Ewolucja piękna: jak darwinowska teoria wyboru partnera kształtuje świat zwierząt i nas samych*, przeł. K. Skoneczny, Copernicus Center Press, Kraków 2019. Świetliki i ich wybory partnerów omówiono w: S.M. Lewis, C.K. Cratsley, *Flash signal evolution, mate choice, and predation in fireflies*, „Annual Review of Entomology" 2008, nr 53, s. 293–321. Konstrukcje altanników są opisane i zilustrowane w: Peter Rowland, *Bowerbirds*, CSIRO Publishing, Collingwood, Australia 2008, zwłaszcza s. 40–47.

232 Opór wobec doboru płciowego był również częściowo spowodowany selektywną władzą cedowaną na wybredne samice; taka koncepcja wydawała się odpychająca wiktoriańskim biologom (praktycznie samym mężczyznom) Zob. np. H. Cronin, *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today*, Cambridge University Press, Cambridge 1991. Zauważ również, że istnieją przykłady gatunków, w których samce odgrywają rolę wybrańców, jak i takich, w których w tej roli występują zarówno samce, jak i samice.

233 Karol Darwin, *O pochodzeniu człowieka*...

234 Wallace dał alternatywne wyjaśnienie dla ozdób ciała u samców: otóż cechuje je nadmiar „wigoru", który, nie mając innego ujścia, powoduje pojawienie się żywych kolorów, długich ogonów, przedłużających się nawoływań i tak dalej. Przekonywał również, że atrakcyjne ozdoby cielesne są skorelowane ze zdrowiem i siłą, a tym samym stanowią okazywane zewnętrznie wskaźniki kondycji, co sprawia, że dobór płciowy nie jest niczym więcej niż konkretnym przykładem doboru naturalnego. Zob. Alfred Russel Wallace, *Natural Selection and Tropical Nature*, Macmillan and Co., Londyn 1891. Ornitolog Richard Prum argumentuje, że naukowcy bezzasadnie zdyskredytowali wrodzoną wrażliwość estetyczną na rzecz wyjaśnień adaptacyjnych, swe kontrowersyjne stanowisko przedstawił w: *Ewolucja piękna*...

235 Asymetria płci męskiej i żeńskiej na polu strategii reprodukcyjnej została zbadana i naświetlona przez Roberta Triversa w: *Parental Investment and Sexual Selection*, w: *Sexual Selection and the Descent of Man: The Darwinian Pivot*, red. Bernard G. Campbell, Aldine Publishing Company, Chicago 1972, s. 136–179.

236 Geoffrey Miller, *Umysł w zalotach: jak wybory seksualne kształtowały naturę człowieka*, przeł. M. Koraszewska, Dom Wydawniczy Rebis, Poznań 2014; Denis Dutton, *The Art Instinct*, Bloomsbury Press, Nowy Jork 2010. Perspektywa ta jest ściśle związana z wcześniejszą propozycją Amotza Zahaviego, zasadą upośledzenia, która przewiduje, że niektóre zwierzęta reklamują swoją sprawność przez zwracające uwagę pokazy, np. za pomocą ekstrawaganckich zachowań lub przesadnie rozwiniętych części ciała. Paw, który może sobie pozwolić na noszenie pięknego, ale nieporęcznego ogona, zapewnia potencjalne partnerki o swojej sile i sprawności fizycznej, ponieważ słabsi bracia nie byliby w stanie przeżyć z tak zagrażającą przetrwaniu cechą. Idea jest więc taka, że dawni artyści mogli wykorzystać adaptacyjną nieistotność swojej sztuki jako analogiczny publiczny pokaz siły i sprawności, zwiększając własne możliwości reprodukcyjne, a tym samym przekazując skłonność do wykorzystywania sztuki jako środka pozwalającego na przyciąganie partnerów. Zob. Amotz Zahavi, *Mate selection – A selection for a handicap*, „Journal of Theoretical Biology" 1975, nr 53 (1), s. 205–214.

237 Brian Boyd, *Evolutionary Theories of Art*, w: *The Literary Animal: Evolution and the Nature of Narrative*, red. Jonathan Gottschall, David Sloan Wilson, Northwestern University Press, Evanston, IL 2005, s. 147. Krytykę doboru płciowego jako wyjaśnienia ludzkiej aktywności artystycznej, o której mowa w tym paragrafie, można znaleźć w wielu publikacjach. Oto próbka: jeśli dobór płciowy jest wytłumaczeniem dla sztuki, to czy nie należałoby oczekiwać, że sztuka będzie przedsięwzięciem kierowanym przez mężczyzn i dostosowanym do dostępu seksualnego, czyli uprawianym głównie przez mężczyzn w apogeum ich popędu reprodukcyjnego i skierowanym wyłącznie do potencjalnych partnerek? (Brian Boyd, *On the Origin of Stories*, Belknap Press, Cambridge 2010, s. 76; Ellen Dissanayake, *Art and Intimacy*, University of Washington Press, Seattle 2000, s. 136). Inteligencja i kreatywność niekoniecznie są godnymi zaufania wskaźnikami sprawności fizycznej – połączenie słabości fizycznej i sprawności twórczej nie jest rzadkością. James R. Roney, *Likeable but Unlikely, a Review of the Mating Mind by Geoffrey Miller*, „Psycoloquy" 2002, nr 13 (10), art. 5. Czy istnieją dowody na to, że osiągnięcia artystyczne mężczyzn są lepszym sposobem na reklamę sprawności niż inne działania, takie jak osiąganie wysokiej pozycji społecznej, pokazywanie bogactwa, wygrywanie imprez sportowych i tak dalej? (Stephen Davies, *The Artful Species: Aesthetics, Art, and Evolution*, Oxford University Press, Oksford 2012, s. 125).

238 Steven Pinker, *Jak działa umysł*…

239 Ellen Dissanayake, *Art and Intimacy*…, s. 94.

240 Noël Carroll, *The Arts, Emotion, and Evolution*, w: *Aesthetics and the Sciences of Mind*, red. Greg Currie, Matthew Kieran, Aaron Meskin, Jon Robson,

Oxford University Press, Oksford 2014.

241 Glenn Gould, w: *The Glenn Gould Reader*, red. Tim Page, Vintage Books, Nowy Jork 1984, s. 240.

242 Brian Boyd, *On the Origin of Stories*, Belknap Press, Cambridge, MA 2010, s. 125.

243 Jane Hirshfield, *Nine Gates: Entering the Mind of Poetry*, Harper Perennial, Nowy Jork 1998, s. 18.

244 Saul Bellow, wykład noblowski, 12 grudnia 1976 r., cyt. za: *Nobel Lectures, Literature 1968–1980*, red. Sture Allén, World Scientific Publishing Co., Singapur 1993.

245 Joseph Conrad, *Murzyn z załogi „Narcyza”*, przeł. B. Zieliński, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1962.

246 Yip Harburg, *Yip at the 92nd Street YM-YWHA, December 13, 1970*, transkrypcja 1–10–3, s. 3, taśmy 7–2-10 i 7–2-20.

247 Yip Harburg, *E. Y. Harburg, Lecture at UCLA on Lyric Writing, February 3, 1977*, transkrypcja, s. 5–7, taśma 7–3-10.

248 Marcel Proust, *W poszukiwaniu straconego czasu*, t. 3: *Strona Guermantes*, przeł. T. Żeleński (Boy), Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1992.

249 Ibidem.

250 George Bernard Shaw, *Back to Methuselah*…, s. 278.

251 Ellen Greene, *Sappho 58: Philosophical Reflections on Death and Aging*, w: *The New Sappho on Old Age: Textual and Philosophical Issues*, red. Ellen Greene, Marilyn B. Skinner (Hellenic Studies Series 38), Center for Hellenic Studies, Waszyngton 2009; *Reading Sappho: Contemporary Approaches*, red. Ellen Greene, University of California Press, Berkeley 1996.

252 Joseph Wood Krutch, *Art, Magic, and Eternity*, „Virginia Quarterly Review” 1932, nr 8 (4), https://www.vqronline.org/essay/art-magic-and-eternity.

253 Niektórzy autorzy sugerowali (jak w przyp. 5 do rozdziału 1), że lęk przed śmiercią i towarzyszące mu zaprzeczenie śmierci, jak to opisał Ernest Becker, jest zjawiskiem nowoczesnym, w dużej mierze stymulowanym wzrostem długowieczności i upadkiem religii. Zob. np. Philippe Ariès, *The Hour of Our Death*, przeł. Helen Weaver, Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1981.

254 W.B. Yeats, *Poezje wybrane*, przeł. S. Barańczak i in., Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1987.

255 Herman Melville, *Moby Dick*, przeł. B. Zieliński, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 2018.

256 Edgar Allan Poe, cyt. za: J. Gerald Kennedy, *Poe, Death, and the Life of Writing*, Yale University Press, New Haven 1987, s. 48.

257 Tennessee Williams, *Kotka na gorącym blaszanym dachu*, przeł. J. Poniedziałek, w: *Tramwaj zwany pożądaniem i inne dramaty*, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, Kraków 2012.

258 Przeł. Czesław Jastrzębiec-Kozłowski (przyp. red.). *Zbrodnia i kara*, przeł. C. Jastrzębiec-Kozłowski, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2009.

259 Przeł. Teresa Truszkowska (przyp. red.). Sylvia Plath, *Wiersze*, przeł. T. Truszkowska, Oficyna Literacka, Kraków 1992.

260 Douglas Adams, *Życie, wszechświat i cala reszta*, przeł. P. Wieczorek, Wydawnictwo Albatros Andrzej Kuryłowicz, Warszawa 2006.

261 Pablo Casals, *From Bach Festival: Prades 1950*, cyt. za: Paul Elie, *Reinventing Bach* (New York: Farrar, Straus and Giroux, Nowy Jork 2012, s. 447.

262 Joseph Conrad, *Murzyn…*

263 Helen Keller, list do New York Symphony Orchestra, 2 lutego 1924 r., digital archives of American Foundation for the Blind, plik HK01–07_B114_F08_015_002.tif.

Rozdział 9
Czas trwania i nietrwałość

Od wzniosłości do myśli ostatecznej

Każda kultura zna czczone pojęcie ponadczasowości, oznaczające trwałość. Nieśmiertelne dusze, święte opowieści, absolutni bogowie, wieczne prawa, sztuka transcendentna, twierdzenia matematyczne. A jednak trwałość jest czymś, czego my, ludzie, pragniemy, ale nigdy nie osiągniemy. Najbliższa nam utrata poczucia czasu, w wyniku euforycznego lub tragicznego spotkania, na skutek medytacji lub chemicznego bodźca, uniesienia religijnego lub artystycznego, może przysporzyć nam najbardziej pouczających życiowych doznań.

Kilkadziesiąt lat temu wraz z ośmioma innymi nastolatkami byłem na kursie przetrwania w gęstych lasach stanu Vermont. Późną nocą, gdy wszyscy spaliśmy w namiotach, kadra kursu obudziła nas rykiem i rozkazała szybko się ubierać. Wyszliśmy na improwizowaną, nocną wędrówkę. Idąc gęsiego w ciemnościach i trzymając się za ręce, powoli pokonywaliśmy gęsty las, gęste zarośla i ze szczególną rozkoszą głębokie po pas błota. Mokrzy, zmarznięci i pokryci błotem, dotarliśmy w końcu na pobliską polanę, gdzie powiedziano nam, że dziewięciu z nas zostanie na noc z tylko trzema śpiworami. Zdając sobie sprawę z daremności naszych protestów, spięliśmy śpiwory zamkami, rozebraliśmy się i przytuliliśmy pod namiastką kołdry. Wielu przeklinało, inni przysięgali wcześniej zrezygnować z kursu, a niektórzy płakali. Ale potem pojawił się ten najbardziej cudowny widok. Jasna zorza polarna wypełniła nocne niebo. Nigdy nie

widziałem czegoś takiego. Wirujące nitki babiego lata utworzone przez światło, oszałamiające kolory przechodzące jeden w drugi, a wszystko to na tle niezliczonych gwiazd. Nagle znalazłem się w innym miejscu. Wędrówka, bagno, zimno, prawie nagie przytulanie się – wszystko to było teraz częścią powrotu do pierwotności. Człowiek, natura, Wszechświat. Byłem spowity tańczącymi światłami i utytłany ziemią. Pozbawiony ciepła, jakie zapewnia cywilizacja, byłem zaabsorbowany odległymi gwiazdami. Nie wiem, jak długo gapiłem się w niebo, godziny czy minuty, zanim położyłem się spać. Czas nie miał znaczenia. Przez krótką chwilę czas zniknął.

Takie bezczasowe epizody są rzadkie. I są ulotne. Czas w większości przypadków jest stałym towarzyszem. Nietrwałość to podstawa doznania. Cenimy absolut, ale jesteśmy związani z przemijaniem. Nawet te cechy kosmosu, które mogą przedstawiać trwałość – rozległa przestrzeń, odległe galaktyki, materia – wszystko to podlega działaniu czasu. Jak dowiemy się w tym i następnym rozdziale, niezależnie od tego, jak stabilny może się wydawać, Wszechświat i wszystko, co on zawiera, jest zmienne i niestałe.

Ewolucja, Entropia i przyszłość

Pod nieugiętą fasadą rzeczywistości nauka ujawniła nieubłagany dramat kłębiących się cząstek, w którym ewolucja i entropia obsadzone są w roli postaci nieustannie walczących ze sobą. Opowieść ta przewiduje, że ewolucja buduje strukturę, a entropia ją niszczy. Tworzy to uporządkowaną historię, ale haczyk, jak widzieliśmy we wcześniejszych rozdziałach, tkwi w tym, że nie do końca jest to prawdziwe. Jak w wielu uproszczonych szkicach, tkwi w tym trochę prawdy. Ewolucja odgrywa zasadniczą rolę w budowaniu struktury. Entropia ma tendencję do degradacji struktury. Jednak entropia i ewolucja nie muszą pociągać w przeciwnych kierunkach. Dwuetapowość entropii pozwala na rozkwit struktury, dopóki entropia jest stamtąd usuwana. Życie jako jedno z najważniejszych osiągnięć ewolucji uosabia ten mechanizm,

zużywając energię wysokiej jakości do utrzymywania i wzmacniania swoich uporządkowanych struktur, a także wydalając wysoką entropię do środowiska jako odpad. Odbywająca się przez miliardy lat współpraca między entropią a ewolucją zaowocowała wspaniałymi strukturami cząsteczek, w tym istnieniem i umysłem zdolnym do wytworzenia *IX Symfonii* oraz znacznie większą liczbą istnień i umysłów zdolnych doznawać jej doskonałości.

Gdy naszą podróż wiodącą od Wielkiego Wybuchu do Beethovena przedłużymy w kierunku przyszłości, to czy ewolucja i entropia w dalszym ciągu będą decydującymi czynnikami wpływającymi na zmiany? Gdy mamy na myśli ewolucję darwinowską, to można przypuszczać, że odpowiedź brzmiałaby: nie[264]. Zależność sukcesu reprodukcyjnego od cech genetycznych jest powodem, dla którego darwinowski dobór naturalny od dawna steruje ewolucyjnym statkiem. Podstawową różnicą, jaka pojawiła się w naszych czasach, jest interwencja nowoczesnej medycyny i ogólnie ochrona zdrowia, jaką zapewnia cywilizacja. Genotypy, dla których wyzwaniem mogło być życie na starożytnej afrykańskiej sawannie, doskonale się mają w dzisiejszym Nowym Jorku. W wielu częściach świata profil genetyczny nie jest już dominującym czynnikiem decydującym o tym, czy umrzesz jako dziecko, czy jako dorosły dochowasz się mnogiego potomstwa. Oczywiście, współczesny postęp dostosowuje poprzednią presję doboru naturalnego do wyrównanego genetycznego pola gry i w ten sposób wywiera własny, zróżnicowany wpływ na ewolucję. Badacze wskazują również na liczne presje, w tym nawyki żywieniowe (na przykład dieta bogata w produkty mleczne sprzyja układom trawiennym, w których produkcja laktazy przedłuża się poza okres dzieciństwa), warunki środowiskowe (na przykład życie na dużej wysokości daje przewagę w przystosowaniu się do przetrwania w atmosferze z mniejszą ilością tlenu) oraz preferencje współmałżonków (na przykład średnia wzrostu w niektórych krajach może ewoluować w kierunku postur uznawanych za bardziej atrakcyjne przez osoby reprodukcyjnie aktywne), które odpowiadają za pewne trendy w puli genów[265]. Jednak największy wpływ może mieć nowo odkryta zdolność do bezpośredniej ingerencji w strukturę genetyczną. Szybko rozwijające

się techniki dają możliwości wzmacniania mechanizmów zmienności genetycznej, wywoływania mutacji losowych i mieszania płciowego oraz projektowania genów. Jeśli naukowiec odkryje gen, który wydłuża ludzkie życie do 200 lat, ale efektem ubocznym działania tego genu będzie niebieskozielona skóra, trzymetrowy wzrost i ogromne libido plus skłonność do pornografii, ewolucja w pełni uwidoczni się w grupie długowiecznych podobnych do Na'vi[266] ludzi, rozwijającej się szybko według własnych praw doboru. Z takim potencjałem do całkowitego przeformowania życia i być może stworzenia jakiejś wersji odczuć zmysłowych – czy to biologicznie, sztucznie czy też według jakiegoś schematu hybrydowego, tak że własności tego życia mogą przyćmić nasze obecne – kto wie, do czego to wszystko może doprowadzić.

W przypadku entropii odpowiedź na pytanie o to, czy będzie miała znaczenie w przyszłości, z pewnością brzmi: tak. Wiele rozdziałów temu stwierdziliśmy, że drugie prawo termodynamiki jest ogólną konsekwencją zastosowania rozumowania statystycznego do podstawowych praw fizycznych. Czy przyszłe odkrycia mogą zmienić prawa, które teraz uważamy za fundamentalne? Prawie na pewno. Czy entropia i drugie prawo termodynamiki utrzymają swoją moc wyjaśniania? Także prawie na pewno. Podczas przechodzenia od klasycznego do radykalnie odmiennego modelu kwantowego matematyka opisująca entropię i drugie prawo termodynamiki wymagała unowocześnienia, ale ponieważ omawiane pojęcia wyłaniają się z najbardziej podstawowego rozumowania probabilistycznego, nadal mają takie samo zastosowanie. Przewidujemy, że tak pozostanie niezależnie od przyszłych zmian w naszym rozumieniu praw fizyki. Nie chodzi o to, że nie jesteśmy w stanie wyobrazić sobie praw fizycznych, które spowodowałyby, że entropia i drugie prawo stałyby się nieistotne, ale prawa te musiałyby być tak sprzeczne z cechami rzeczywistości właściwymi dla wszystkiego, co wiemy, i wszystkim, co zmierzyliśmy, iż większość fizyków od razu odrzuca taką możliwość.

W przewidywaniu przyszłości większa niepewność dotyczy kontroli, jaką my lub przyszła inteligencja moglibyśmy mieć nad naszym otoczeniem. Czy inteligentne życie może sterować długoterminowym

losem gwiazd, galaktyk, a nawet całego kosmosu? Czy taka inteligencja może według swej woli przemieszczać entropię w ogromnych ilościach, skutecznie zmniejszać ją w ogromnych objętościach przestrzeni kosmicznej, czy może stworzyć kosmiczną wersję dwuetapowości entropii? Czy mogłaby projektować i tworzyć całe nowe wszechświaty? Jakkolwiek zbyt daleko idące mogą wydawać się te pomysły, mieszczą się one w granicach możliwości. Dla nas dylematem może być to, że nie jesteśmy w stanie przewidzieć ich wpływu na przyszłość. Nawet w świecie rządzonym prawami, w którym brak tradycyjnej wolnej woli, szeroki repertuar zachowań inteligencji – wersji wolności, jaką zdobywa inteligencja – pewne odmiany przewidywania stają się zasadniczo niemożliwe. Myśl przyszłości bez wątpienia będzie mieć nieporównywalne moce obliczeniowe i technologie, ale podejrzewam, że przewidywanie przyszłych zmian w ogromnej skali czasu, które są ściśle uzależnione od życia i inteligencji, pozostanie poza naszym zasięgiem.

Co zatem możemy zrobić?

Załóżymy, że znane obecnie prawa fizyki, które przypuszczalnie od czasu Wielkiego Wybuchu działają w sposób nieukierunkowany, będą miały dominujący wpływ na rozwój kosmosu. Nie będziemy rozważać możliwości, że same prawa lub nawet „stałe” natury mogą się zmieniać. Nie będziemy też rozważać możliwości, że te prawa lub stałe już teraz powoli ulegają zmianom, dając modyfikacje, które obecnie mogą być zbyt małe, by zostawić ślad, ale w ogromnych przedziałach czasu mogą kumulować się i dokonać znaczących zmian[267]. Nie będziemy też rozważać możliwości, że domena, nad którą przyszła inteligencja będzie sprawować kontrolę strukturalną, rozszerzy się do skali galaktyk lub większych. To prawda, jest tu wiele „nie”, ale wobec braku jakichkolwiek dowodów, którymi moglibyśmy się kierować, zbadanie tych możliwości sprowadzałoby się do strzelania w ciemno. Jeśli te założenia są sprzeczne z twoimi oczekiwaniami wobec przyszłości, to w tym i następnym rozdziale możesz uznać, że odzwierciedlają one rozwój kosmologii, który nastąpiłby wobec braku takich zmian lub inteligentnej interwencji. Podejrzewam, że wiedza, jaką przyniosą przyszłe odkrycia, jak również wpływ wywierany przez przyszłą inteligencję, choć

z pewnością istotne dla szczegółów tej opowieści, nie wymuszą pisania od nowa dziejów kosmosu, którego przeglądu dokonamy[268]. Być może to śmiałe założenie, ale jest to najszybsza droga naprzód, którą będziemy teraz podążać[269].

Jak wyniknie z kolejnych stron, sam fakt, że możemy zebrać przekonującą, choć wstępną relację, która omawia rozwój kosmosu w bardzo odległej przyszłości, jest niezwykłym osiągnięciem, opracowanym rękami wielu i tak samo symbolicznym dla naszego gatunku jak najbardziej cenione opowieści, mity, religie i dzieła artystyczne.

Imperium czasu

Jak powinniśmy zorganizować naszą myśl o przyszłości? Ludzka intuicja jest dość dobrze dostosowana do pojmowania ram czasowych wspólnych doświadczeń, ale analizując kluczowe epoki kosmologiczne przyszłości, będziemy mieć do czynienia z tak ogromnymi zakresami czasu, że nawet najlepsze analogie nie będą w stanie dać nic więcej niż wskazówkę o przedziale czasu. Nie ma jednak lepszego sposobu niż analogie oparte na znanych skalach, które mogą być takim wyimaginowanym stopniem w tej wspinaczce w nieznane, wyobraźmy więc sobie, że linia czasu Wszechświata ciągnie się w górę Empire State Building, a każde piętro przedstawia dziesięciokrotnie dłuższy okres niż poprzednie. Pierwsze piętro to dziesięć lat od Wielkiego Wybuchu, drugie piętro – dalsze sto lat, trzecie – tysiąc lat i tak dalej. Jak wskazują liczby, czas rośnie gwałtownie, gdy wspinamy się z piętra na piętro – prosto to opisać, ale łatwo opacznie zrozumieć. Przejście z – powiedzmy – 12. piętra na 13. prowadzi do Wszechświata istniejącego pomiędzy bilionem lat po Wielkim Wybuchu a tym istniejącym dziesięć bilionów lat po Wybuchu. Wchodząc na to piętro, odbywamy podróż w czasie dziewięciu bilionów lat, tym samym czas wyobrażany przez wszystkie poprzednie piętra zdaje się ogromnie mały. Gdy nadal wspinamy się wyżej, obowiązuje nadal ten sam wzorzec: okres przedstawiany

przez każde kolejne piętro jest znacznie większy, ogromnie większy od tego odpowiadającego wszystkim poprzednim piętrom.

Jeśli porównamy okres życia człowieka wynoszący około 100 lat z czasem trwania stabilnych imperiów wynoszącym około 1000 lat, z istnieniem odpornych gatunków przez miliony lat, to coraz wyższe piętra Empire State Building wyobrażają zupełnie odrębne okresy, które można by liczyć w eonach. Gdy dotrzemy do pokładu obserwacyjnego Empire State Building na 86. piętrze, minie 10^{86} lat – 100 000 000 000

się w oczy i niezawodny wzorzec na świecie. Równie niezawodnie ten rytm pewnego dnia się skończy.

Przez prawie pięć miliardów lat Słońce utrzymywało swoją ogromną masę w równowadze z miażdżącą siłą grawitacji dzięki energii wytwarzanej w swoim rdzeniu w procesie syntezy jąder wodoru. Ta energia zasila szalone środowisko szybko poruszających się cząstek, które wywierają ogromne ciśnienie na zewnątrz. I podobnie jak ciśnienie wytwarzane przez pompę powietrzną, która podtrzymuje nadmuchiwany domek dziecka, ciśnienie wytwarzane w procesie syntezy utrzymuje w równowadze całe Słońce, uniemożliwiając mu zapadnięcie się pod własnym ogromnym ciężarem. Ten impas między grawitacyjnym wciąganiem cząstek do wnętrza a wypychaniem ich przez ciśnienie na zewnątrz utrzyma się około kolejnych pięciu miliardów lat, ale potem równowaga zostanie odwrócona do góry nogami. Nawet jeśli Słońce nadal będzie miało ogromny zapas wodoru, prawie żadne jego jądro nie znajdzie się w rdzeniu. W wyniku syntezy wodoru powstaje hel, jądra cięższe od wodoru, a więc tak jak piasek wsypywany do stawu wypiera z niego wodę, hel wypiera wodór znajdujący się w rdzeniu Słońca.

To bardzo ważne.

W centrum Słońca panują najgorętsze temperatury, obecnie około 15 milionów stopni, czyli znacznie więcej niż 10 milionów stopni potrzebnych do syntezy wodoru w hel. Do syntezy jąder helu potrzebna jest temperatura około 100 milionów stopni. Ponieważ temperatura Słońca nie sięga tego progu, gdy hel wypiera wodór w rdzeniu, dostawa paliwa do podtrzymania syntezy się zmniejsza. Ciśnienie skierowane na zewnątrz, wytwarzane podczas syntezy jądrowej, spadnie, a co za tym idzie – ciśnienie wywołane przez grawitację, skierowane do wewnątrz, zyska przewagę. Słońce zacznie implodować. Gdy jego spektakularna masa zacznie zapadanie do wewnątrz, temperatura Słońca ogromnie wzrośnie. Intensywne ciepło i ciśnienie, wciąż za małe do rozpoczęcia spalania helu, spowoduje nową rundę syntezy w cienkiej powłoce jąder wodoru otaczającej rdzeń helowy. W tak ekstremalnych warunkach synteza wodoru będzie postępować w niezwykłym tempie, wytwarzając bardziej intensywny nacisk na zewnątrz niż

kiedykolwiek wcześniej, nie tylko powstrzymując implozję, ale także powodując ogromne puchnięcie Słońca.

Losy planet wewnętrznych zależą od dwóch czynników: jak duży będzie rozrost Słońca i jeśli będzie on postępować, ile masy Słońce utraci. To ostatnie pytanie jest o tyle istotne, że gdy silnik jądrowy pracuje na nadbiegu, liczne cząstki w zewnętrznej warstwie Słońca będą stale wrzucane w przestrzeń. Z kolei mniejsza masa Słońca powoduje zmniejszenie ogólnego przyciągania grawitacyjnego, co sprawia, że planety migrują na bardziej odległe orbity. Przyszłość danej planety zależy od tego, czy promień jej trajektorii wycofania się może przekroczyć promień nabrzmiałego Słońca.

Symulacje komputerowe zawierające szczegółowe modele Słońca wskazują, że Merkury przegra wyścig i zostanie wchłonięty przez pęczniejące Słońce, szybko wyparowując. Mars, krążący w większej odległości, będzie miał fory i pozostanie bezpieczny. Wenus prawdopodobnie ulegnie zniszczeniu, mimo to niektóre symulacje sugerują, że pęczniejące Słońce będzie tylko trochę mniejsze od jej orbity i jeśli tak będzie, to dotyczy to też Ziemi[270]. A nawet jeśli Ziemia zostanie oszczędzona, warunki na niej ulegną ogromnej zmianie. Temperatura powierzchni wzrośnie do tysięcy stopni; będzie wystarczająco gorąco, aby wyschły oceany, w przestrzeń uleciała atmosfera i powierzchnia została zalana lawą. Z pewnością będą to nieprzyjazne warunki, ale gigantyczne czerwone Słońce rozlewające się po niebie będzie stanowić niesamowity widok. Jest jednak całkiem pewne, że jest to widok, którego nikt nigdy nie zobaczy. Jeśli nasi potomkowie nadal będą wegetować (wśród innych potencjalnych katastrof uda im się uniknąć autodestrukcji, śmiercionośnych patogenów, katastrof ekologicznych, zabójczych asteroid i inwazji obcych) i jeśli będą chcieli, aby tak było nadal, to na długo przedtem opuszczą Ziemię w poszukiwaniu bardziej gościnnego domu.

W miarę jak jądra wodoru otaczające helowy rdzeń Słońca będą dalej ulegać syntezie, dodatkowy hel, który wytwarzają, będzie opadał, zmuszając rdzeń do kurczenia się jeszcze bardziej, co spowoduje, że jego temperatura wzrośnie. Z kolei wyższa temperatura rdzenia przyspieszy cykl, zwiększając tempo syntezy

wodoru w otaczającej go powłoce, zintensyfikuje napór helu na rdzeń, co jeszcze bardziej zwiększy jego temperaturę. Od dziś za jakieś pięć i pół miliarda lat temperatura rdzenia będzie wreszcie wystarczająco wysoka, aby mogło dojść do jądrowej syntezy helu, co uruchomi produkcję węgla i tlenu. Po spektakularnej, ale chwilowej erupcji, która oznacza przejście do fuzji helu jako dominującego źródła energii Słońca, zmniejszy ono z powrotem swoje rozmiary i pozostanie w mniej szaleńczej konfiguracji.

Jednak nowo uzyskana stabilność będzie stosunkowo krótka. W ciągu około 100 milionów lat, tak jak cięższy hel wyparł lżejszy wodór, cięższy węgiel i tlen zrobią to samo z lżejszym helem, przejmując rdzeń Słońca i wypychając hel do otaczających warstw. Spalanie jądrowe nowych składników rdzenia, węgla i tlenu, wymaga jeszcze wyższych temperatur, co najmniej 600 milionów stopni. Ponieważ temperatura rdzenia Słońca jest o wiele niższa, synteza jądrowa znów się zatrzyma, ponownie przeważy grawitacja, Słońce się skurczy, a temperatura rdzenia wzrośnie.

W poprzedniej fazie tego cyklu rosnąca temperatura spowodowała rozpoczęcie syntezy w warstwie wodoru otaczającej rdzeń helowy w stanie spoczynku. Teraz rosnąca temperatura rozpocznie syntezę w warstwie helu otaczającej rdzeń węglowo-tlenowy w stanie spoczynku. W całym tym wirze przemian temperatura w rdzeniu nigdy nie osiągnie wartości potrzebnej do ponownego zapłonu rdzenia. Masa Słońca jest zbyt mała, aby zapewnić niezbędną grawitacyjną implozję masy, która w większych gwiazdach zapoczątkowałoby syntezę węgla i tlenu w jeszcze cięższe i bardziej złożone jądra. Zamiast tego, gdy wypali się powłoka helowa, natryskując rdzeń świeżo wytworzonym węglem i tlenem, rdzeń będzie się kurczyć dalej aż do momentu, gdy proces kwantowy – zwany *zakazem Pauliego* – powstrzyma implozję[271].

W 1925 roku austriacki fizyk Wolfgang Pauli, słynny z kostycznych wypowiedzi pionier teorii kwantów („Nie przeszkadza mi, że powoli myślisz; przeszkadza mi to, że publikujesz szybciej, niż myślisz”[272]), zdał sobie sprawę, że mechanika kwantowa wyznacza granicę tego, jak blisko mogą być ściśnięte ze sobą dwa elektrony (ściślej mówiąc, mechanika kwantowa nie pozwala, aby dwie identyczne cząstki

materii zajmowały ten sam stan kwantowy, ale wystarczy, że zajmują stany przybliżone). Wkrótce potem wielu badaczy spostrzegło, że zakaz Pauliego był kluczem do zrozumienia losu Słońca, jak również losu wszystkich gwiazd podobnej wielkości. W miarę kurczenia się Słońca elektrony w rdzeniu będą coraz ciaśniej upakowane, dzięki czemu prędzej czy później ich gęstość osiągnie granicę określoną przez zakaz Pauliego. Gdy dalsze kurczenie naruszy zasadę Pauliego, włącza się silne odpychanie kwantowe, elektrony domagają się swojej osobistej przestrzeni i nie chcą być pakowane bliżej. Słońce przestaje się kurczyć[273].

Z dala od rdzenia zewnętrzne powłoki Słońca będą się nadal rozszerzać i ochładzać, ostatecznie ulecą w przestrzeń kosmiczną, pozostawiając po sobie zadziwiająco gęstą kulę węgla i tlenu, zwaną białym karłem, która będzie świecić jeszcze przez kilka miliardów lat. Bez wymaganej temperatury do dalszej syntezy jądrowej energia cieplna będzie się powoli rozpraszać w przestrzeni kosmicznej i jak żarzący się węgielek pozostałość Słońca ostygnie i przygaśnie, ostatecznie przechodząc w ciemne, zamarznięte ciało niebieskie. Kilka kroków powyżej 10. piętra Słońce stanie się czarne.

Jest to spokojny koniec. Tym bardziej w porównaniu z kataklizmem, który może czekać cały Wszechświat, gdy będziemy kontynuować naszą wspinaczkę na kolejne piętra.

Wielkie Rozdarcie

Rzuć jabłko do góry, a niestrudzone przyciąganie ziemskiej grawitacji sprawi, że jego prędkość będzie stale się zmniejszać. Jest to ćwiczenie dla początkujących z głębokim podtekstem kosmologicznym. Od czasu obserwacji Edwina Hubble'a w latach dwudziestych XX wieku wiemy, że przestrzeń kosmiczna się rozszerza: galaktyki oddalają się od siebie[274]. Jednak podobnie jak z rzuconym w górę jabłkiem, wzajemne przyciąganie grawitacyjne galaktyk musi z pewnością spowalniać ten kosmiczny exodus. Przestrzeń kosmiczna rozszerza się, ale tempo ekspansji musi się zmniejszać. Dwa zespoły astronomów motywowane tym efektem

zaczęły latach dziewięćdziesiątych pomiary tempa kosmicznego spowolnienia. Po prawie dekadzie badań ogłosili swoje wyniki – i wstrząsnęli światem nauki[275]. Oczekiwania były błędne. Dzięki żmudnym obserwacjom odległych wybuchów supernowych, potężnych kosmicznych latarni, które można wyraźnie zobaczyć i zmierzyć w kosmosie, odkryli, że ekspansja nie zwalnia. Wręcz przyspiesza. I nie jest tak, jakby przejście na kosmiczny nadbieg zdarzyło się wczoraj. Naukowcy, spadając z krzeseł, dowiedzieli się z obserwacji astronomicznych, że ekspansja nabiera tempa przez ostatnich 5 miliardów lat.

Spowolnienie tempa ekspansji było powszechnie oczekiwane, ponieważ ma to sens. Proponowanie szybszego tempa ekspansji przestrzeni kosmicznej jest na początku równie absurdalne jak przewidywanie, że rzucone jabłko, gdy opuści dłoń, poleci jak rakieta w niebo. Gdybyście zobaczyli tak dziwaczne zjawisko, szukalibyście ukrytej siły, przeoczonego oddziaływania odpowiedzialnego za pchnięcie jabłka w górę. Podobnie gdy dane dostarczyły przytłaczających dowodów na przyspieszenie ekspansji przestrzeni, naukowcy podnieśli się z podłogi, wzięli w garść kredę i zaczęli szukać przyczyny.

Główne wyjaśnienie przywołuje zasadniczą cechę ogólnej teorii względności Einsteina, z którą spotkaliśmy się przy okazji omawiania kosmologii inflacyjnej w rozdziale 3[276]. Przypomnijmy, że zarówno według Newtona, jak i Einsteina skupiska materii, takie jak planety i gwiazdy, podlegają znanemu przyciąganiu grawitacyjnemu, ale w podejściu Einsteina repertuar grawitacji się poszerza. Jeżeli jakiś obszar przestrzeni nie stanowi siedliska materii, lecz zamiast tego jest jednorodnie wypełniony polem energii – moje wyobrażenie, wprowadzone wcześniej, to para równomiernie wypełniająca łazienkę – to wynikająca z tego siła grawitacji jest odpychająca. W kosmologii inflacyjnej badacze wyobrażają sobie, że taka energia jest niesiona przez egzotyczny gatunek pola (pole inflatonu), a teoria proponuje, że jego potężna odpychająca grawitacja sterowała Wielkim Wybuchem. Chociaż wydarzyło się to prawie 14 miliardów lat temu, możemy zastosować analogiczne podejście, aby wyjaśnić przyspieszoną ekspansję kosmosu, którą obecnie obserwujemy.

Jeśli wyobrazimy sobie, że cała przestrzeń jest jednolicie wypełniona innym polem energetycznym – nazywanym *ciemną energią*, ponieważ nie generuje światła, ale *niewidzialna energia* byłaby równie trafnym określeniem – to możemy wyjaśnić, dlaczego wszystkie galaktyki tak pospiesznie się oddalają. Będąc skupiskami materii, galaktyki nawzajem przyciągają się grawitacyjnie i w ten sposób spowalniają kosmiczny exodus. Ponieważ ciemna energia jest równomiernie rozłożona, wytwarza odpychanie grawitacyjne i w ten sposób przyspiesza kosmiczny exodus. Aby wyjaśnić przyspieszoną ekspansję obserwowaną przez astronomów, odpychanie ciemnej energii musi po prostu przewyższać zbiorowe przyciąganie się galaktyk. Wystarczy, że niewiele. W porównaniu z zawrotnym rozdęciem przestrzeni kosmicznej podczas Wielkiego Wybuchu obecna ekspansja jest łagodna, a więc wystarczy tylko odrobina ciemnej energii. Rzeczywiście, średnio w metrze sześciennym przestrzeni ilość ciemnej energii potrzebna do podtrzymania obserwowanego galaktycznego przyspieszenia zasilałaby stuwatową żarówkę przez około pięciu bilionowych części sekundy – to bardzo niewiele w kosmicznej skali[277], ale przestrzeń składa się z bardzo wielu metrów sześciennych. Zsumowany wkład każdego z tych metrów sześciennych daje siłę zewnętrzną zdolną do wywołania przyspieszonej ekspansji zmierzonej przez astronomów.

Zjawisko ciemnej energii jest fascynujące, ale oparte na poszlakach. Nikt nie znalazł sposobu, aby uchwycić ciemną energię, ustalić jej istnienie i bezpośrednio zbadać jej własności. Niemniej jednak, ponieważ tak trafnie wyjaśnia ona obserwacje, ciemna energia stała się *de facto* czynnikiem wywołującym przyspieszoną ekspansję kosmosu. Mniej jasne jest jednak jej długofalowe zachowanie. I aby móc przewidywać odległą przyszłość, konieczne jest przemyślenie wszystkich możliwości. Najprostszy scenariusz zgodny ze wszystkimi obserwacjami zakłada, że wartość ciemnej energii nie zmienia się w kosmicznej skali czasu[278]. Jednak prostota, choć koncepcyjnie preferowana, nie jest fundamentem prawdy. Z matematycznego opisu ciemnej energii wynika, że może ona się zmniejszyć, co spowoduje wyhamowanie przyspieszonej ekspansji, lub może się zwiększyć, co da dodatkowy impuls przyspieszonej

ekspansji. Z tarasu na 11. piętrze ta ostatnia sytuacja – odpychająca grawitacja, która staje się coraz silniejsza – jest najbardziej nieprzyjazną możliwością; jeśli zdamy sobie sprawę, że pędzimy w kierunku gwałtownego zdarzenia, które fizycy nazywają *wielkim rozdarciem*.

Coraz silniejsze odpychające działanie grawitacji z czasem zatriumfowałoby nad wszystkimi siłami, które scalają, w wyniku czego wszystko zostałoby rozerwane na strzępy. Twoje ciało jest trzymane w nienaruszonym stanie przez siły elektromagnetyczne, wiążące razem składniki atomowe i molekularne, a także przez silne oddziaływania jądrowe, wiążące razem protony i neutrony wewnątrz jąder atomowych. Ponieważ oddziaływania te są znacznie silniejsze niż obecne rozciąganie na zewnątrz rozszerzającej się przestrzeni, nasze ciała trzymają się mocno. Jeśli się rozszerzamy, to nie dlatego, że przestrzeń się rozszerza. Jeśli jednak intensywność rozszerzania się będzie coraz większa, to przestrzeń wewnątrz naszych ciał będzie się w końcu rozszerzać z taką mocą, że przezwycięży elektromagnetyczne i jądrowe oddziaływania utrzymujące je razem. Będziemy puchnąć i ostatecznie rozpadniemy się na kawałki, tak jak wszystko inne.

Szczegóły zależą od tempa narastania odpychającej grawitacji, ale w symulacji opracowanej przez fizyków Roberta Caldwella, Marca Kamionkowskiego i Nevina Weinberga za jakieś 20 miliardów lat odpychająca grawitacja rozproszy gromady galaktyk, miliard lat później gwiazdy tworzące Drogę Mleczną zostaną rozrzucone jak iskry na pokazie sztucznych ogni, około 60 milionów lat po tym Ziemia i inne planety w Układzie Słonecznym zostaną odciągnięte od Słońca, kilka miesięcy później rozciągająca siła grawitacyjna pomiędzy cząsteczkami spowoduje eksplozję gwiazd i planet, a po upływie zaledwie 30 minut zwiększy się odpychanie pomiędzy cząsteczkami stanowiącymi poszczególne atomy, które będzie tak silne, że nawet one się rozpadną[279]. Końcowy stan Wszechświata będzie zależeć od nieznanej obecnie kwantowej natury przestrzeni i czasu. Mówiąc obrazowo, bo na razie brak matematycznej ścisłości, możliwe jest, że odpychająca grawitacja rozerwie samą strukturę czasoprzestrzeni. Rzeczywistość, która rozpoczęła się od wybuchu,

jakiś czas przed osiągnięciem 11. piętra, po 100 miliardach lat od Wielkiego Wybuchu może zakończyć się rozdarciem na strzępy.

Podczas gdy obecne obserwacje pozwalają domniemywać, że gęstość ciemnej energii wzrasta, ja i wielu innych fizyków uważamy to za mało prawdopodobne. Studiując równania, mam wrażenie, że z jednej strony matematyka działa (ledwie), ale z drugiej równania nie są naturalne ani przekonujące. Jest to opinia oparta na wiedzy zbieranej przez dziesięciolecia, a nie dowód matematyczny, na pewno więc może być błędna. Jednak stanowi motywację do optymizmu i założenia, że wielkie rozdarcie nie sprawi, iż kolejne piętra Empire State Building staną się nieistotne. A zatem kontynuujmy naszą podróż w górę linii czasu.

Nie musimy wysoko się wspinać, aby natknąć się na kolejne decydujące wydarzenie.

Urwiska przestrzeni

Jeśli odpychanie grawitacyjne nie będzie się zwiększać, ale pozostanie stałe, wszyscy odetchniemy z ulgą; rozerwanie na strzępy przez rozszerzającą się przestrzeń nie będzie już zmorą. Ponieważ jednak odpychająca grawitacja będzie nadal prowadzić do coraz szybszego oddalania się od siebie galaktyk, będzie to miało głębokie długoterminowe konsekwencje: za mniej więcej bilion lat prędkość recesji odległych galaktyk osiągnie, a następnie przekroczy prędkość światła, co może naruszać najsłynniejszą zasadę Einsteina. Ściślejsza analiza pokazuje, że w rzeczywistości reguła ta trzyma się mocno: *dictum* Einsteina, że nic nie może przekroczyć prędkości światła, odnosi się wyłącznie do prędkości obiektów poruszających się *w* przestrzeni. Galaktyki prawie nie poruszają się w przestrzeni. Nie są wyposażone w silniki rakietowe. Podobnie jak plamki białej farby na kawałku elastycznej tkaniny odsuwają się od siebie, gdy tkanina się rozciąga, galaktyki w większości tkwią w przestrzeni i rozbiegają się, ponieważ sama przestrzeń ulega rozszerzeniu. Im bardziej jedna galaktyka jest oddalona od drugiej, tym szybciej przestrzeń między nimi ulega rozszerzeniu, a więc tym szybciej galaktyki się rozbiegają.

Zasada Einsteina nie nakłada żadnych ograniczeń na prędkość takiej recesji.

Mimo to granica prędkości światła pozostaje niezmiernie istotna. Światło emitowane przez każdą z galaktyk przemieszcza się w przestrzeni. Podobnie do kajakarza wiosłującego w górę rzeki z prędkością mniejszą niż prędkość nurtu światło emitowane przez galaktykę oddalającą się z prędkością nadświetlną przegra bitwę, gdy będzie próbowało do nas dotrzeć. Przemierzając przestrzeń z prędkością światła, światło nie jest w stanie pokonać rozszerzania się odległości do Ziemi zachodzącego z prędkością nadświetlną. W rezultacie gdy przyszli astronomowie skierują swe teleskopy w miejsca, gdzie nie będzie lokalnych gwiazd, zobaczą tylko aksamitną czarną ciemność. Odległe galaktyki znajdą się poza granicami tego, co astronomowie nazywają *kosmicznym horyzontem*. Będzie to tak, jakby spadły one z klifu na skraju przestrzeni.

Skupiłem uwagę na odległych galaktykach, ponieważ te, które znajdują się stosunkowo blisko, gromada około 30 galaktyk znana jako Grupa Lokalna, nadal będą naszymi kosmicznymi towarzyszami. Rzeczywiście, aż do 11. piętra, Grupa Lokalna, zdominowana przez Drogę Mleczną i Andromedę, prawdopodobnie scali się, a oczekiwaną w przyszłości unię astronomowie już ochrzcili mianem *Milkomedy* (lobbowałbym za *Andromilky*). Gwiazdy Milkomedy będą wystarczająco blisko, aby ich wzajemne przyciąganie grawitacyjne wytrzymało ekspansję przestrzeni i utrzymało zbiór gwiazd w stanie nienaruszonym, ale odcięcie nam kontaktu z bardziej odległymi galaktykami będzie wielką stratą. To właśnie dzięki starannym obserwacjom takich obiektów Edwin Hubble po raz pierwszy uświadomił sobie, że przestrzeń kosmiczna się rozszerza, co potwierdziło 100 lat kolejnych obserwacji. Bez dostępu do odległych galaktyk stracimy podstawowe narzędzie diagnostyczne do śledzenia ekspansji przestrzeni. Te same obserwacje, które doprowadziły nas do zrozumienia Wielkiego Wybuchu i rozwoju kosmosu, nie będą już możliwe.

Astronom Avi Loeb zasugerował, że gwiazdy o dużej prędkości, które nieustannie będą uciekać z konglomeratu Milkomedy i dryfować w głęboką przestrzeń, mogą dla tych obserwacji stanowić

substytut odległych galaktyk, jak rzucanie popcornu z pontonu w celu śledzenia prądu biegnącej w dół rzeki. Loeb również przyznaje, że bezustanna, przyspieszona ekspansja uniemożliwi przyszłym astronomom przeprowadzanie precyzyjnych pomiarów kosmologicznych[280]. Na przykład do 12. piętra, około tryliona lat po Wielkim Wybuchu, bardzo ważne mikrofalowe promieniowanie tła, którym zajmowaliśmy się w rozdziale 3, zostanie tak rozciągnięte i rozrzedzone przez kosmiczną ekspansję (w żargonie naukowym: jego częstość ulegnie takiemu przesunięciu ku czerwieni), że prawdopodobnie będzie już niemożliwe do wykrycia.

To zastanawiające. Załóżmy, że zebrane dane, które stwierdzają, że Wszechświat się rozszerza, zostaną w jakiś sposób zachowane i wpadną w ręce astronomów za bilion lat. Czy oni w to uwierzą? Używając swoich najnowocześniejszych urządzeń, owocu osiągnięć biliona lat, zobaczą Wszechświat, który na największych odległościach jest czarny, wieczny i niezmienny. Można sobie wyobrazić, że zbyliby machnięciem ręki dziwaczne rezultaty pochodzące z pradawnej i prymitywnej ery – naszej – i zaakceptowaliby błędny wniosek, iż ogólnie biorąc, Wszechświat jest statyczny.

Nawet w świecie podlegającym nieustannemu wzrostowi entropii przyzwyczailiśmy się do tego, że pomiary zawsze stają się dokładniejsze, zbiory danych się rozrastają, a zrozumienie staje się głębsze. Przyspieszona ekspansja przestrzeni może zniweczyć te oczekiwania i spowodować, że istotne informacje będą tak szybko umykać, aż staną się niedostępne. Głębokie prawdy mogą po cichu wabić naszych potomków tuż zza horyzontu.

Zmierzch gwiazd

Pierwsze gwiazdy zaczęły się tworzyć na ósmym piętrze, mniej więcej 100 milionów lat po Wielkim Wybuchu, i będą powstawać tak długo, jak długo surowce do produkcji nowych gwiazd będą dostępne. Jak długo to będzie trwać? Cóż, lista składników jest krótka: wszystko, czego potrzeba, to wystarczająco duży obłok

wodoru. Jak widzieliśmy, grawitacja tam zaczyna działać, powoli zgniatając chmurę, podgrzewając jej rdzeń i rozpoczynając syntezę jądrową. Jeśli znasz masę gazu zawartą w galaktyce i tempo, w jakim formowanie gwiazd wyczerpuje zasoby gazu, możesz oszacować czas, przez jaki formowanie się gwiazd będzie zachodzić. Są pewne niuanse, które sprawiają, że takie rachunki stają się bardziej złożone (tempo tworzenia się gwiazd w galaktyce może ulegać zmianom w miarę upływu czasu; gdy gwiazdy się wypalają, część ich składu gazowego powraca do galaktyki, powiększając rezerwy), ale dzięki wyrafinowanym obliczeniom naukowcy doszli do wniosku, że do 14. piętra, czyli za jakieś 100 bilionów lat, w ogromnej większości galaktyk przestaną się rodzić nowe gwiazdy.

Kontynuując wspinaczkę w górę od 14. piętra, zauważymy też coś innego. Gwiazdy będą zanikać. Im masywniejsza gwiazda, tym bardziej ciężar miażdży jej rdzeń i tym większa jest jego temperatura. Z kolei im większa temperatura, tym szybsze tempo syntezy jądrowej, a tym samym szybsze spalanie rezerw materiału nuklearnego gwiazdy. Słońce będzie płonąć jasno około 10 miliardów lat, gwiazdy znacznie cięższe wyczerpią swoje zapasy paliwa jądrowego znacznie wcześniej. Natomiast gwiazdy ważące mniej więcej jedną dziesiątą masy Słońca spalają się wolniej i żyją znacznie dłużej. Astronomowie używają ogólnej nazwy *czerwony karzeł* na określenie rodzaju gwiazd o niskiej masie i zgodnie z obserwacjami prawdopodobnie taka jest większość gwiazd we Wszechświecie. Ich stosunkowo niskie temperatury i powolne, metodyczne spalanie wodoru (prądy konwekcyjne w czerwonym karle sprawiają, że w rdzeniu jest spalany prawie cały wodór zawarty w gwieździe) umożliwiają czerwonym karłom świecenie przez wiele bilionów lat, tysiące razy dłużej niż żywotność Słońca. Jednak na 14. piętrze nawet późno rozkwitła czerwona karłowata gwiazda będzie już wypalać resztki paliwa.

A zatem gdy wejdziemy na 14. piętro, galaktyki będą przypominać spalone miasta z czarnej wizji przyszłości. Niegdyś tętniące życiem nocne niebo pełne błyszczących gwiazd będzie teraz wypełnione zwęglonym żużlem. Jednak ponieważ przyciąganie grawitacyjne gwiazdy zależy tylko od jej masy, a nie od tego, czy świeci jasno, czy

słabo, te gwiazdy, które goszczą wokół siebie planety, będą prawdopodobnie robić to nadal.

Przez jeszcze jedno piętro.

Zmierzchu porządku astronomicznego

Spojrzenie w górę na czyste nocne niebo sprawia wrażenie, że gwiazdy w galaktyce są gęsto ułożone. Tak nie jest. Chociaż wydaje się, że są one ułożone bardzo blisko siebie na otaczającej nas powierzchni sferycznej, z powodu ich bardzo różnych odległości od Ziemi – tego nie są w stanie zauważyć nasze blisko siebie osadzone oczy – to w rzeczywistości gwiazdy są odległe od siebie. Gdybyśmy zmniejszyli Słońce do wielkości ziarenka cukru i umieścili je w Empire State Building, musielibyśmy przejechać kawał drogi w kierunku Greenwich w Connecticut, aby napotkać Proximę Centauri, najbliższą nam gwiazdę. I nie musielibyśmy jechać szybko, aby się upewnić, że zanim tam dotrzemy, Proxima wciąż jeszcze będzie krążyć wokół Greenwich. W tej skali typowe prędkości gwiazd wynoszą mniej niż milimetr na godzinę. Podobnie jak bardzo rozproszone ślimaki bawiące się w berka, gwiazdy rzadko się zderzają lub mijają w bliskiej odległości.

Wniosek ten opiera się jednak na badaniach znanych nam odcinków czasu – lat, stuleci, tysiącleci – i dlatego musimy go rozważyć ponownie, gdy mamy do czynienia ze znacznie dłuższą skalą czasu. Na 15. piętrze upłynęło milion miliardów lat od Wielkiego Wybuchu. I w tym czasie istniała duża szansa, że obecnie odległe i wolno poruszające się gwiazdy miały wiele bliskich spotkań. Co zachodzi w czasie takiego spotkania?

Skoncentrujmy się na Ziemi i wyobraźmy sobie, że inna gwiazda przelatuje obok. W zależności od masy intruza i jego trajektorii przyciąganie grawitacyjne może tylko w niewielkim stopniu zakłócić ruch Ziemi. Niemasywny intruz, który trzyma się z dala, nie będzie siał spustoszeń. Natomiast przyciąganie grawitacyjne masywniejszej gwiazdy, która przechodzi bliżej, może łatwo wyrwać Ziemię z jej orbity, wysyłając ją w poprzek Układu Słonecznego w głęboką

przestrzeń. A to, co jest prawdziwe dla Ziemi, jest prawdziwe dla większości innych planet krążących wokół większości innych gwiazd w większości innych galaktyk. Gdy będziemy wspinać się w górę linii czasu, coraz więcej planet będzie wyrzucanych w kosmos przez destrukcyjne przyciąganie grawitacyjne niesfornych gwiazd. Choć jest to bardzo mało prawdopodobne, Ziemię istotnie może czekać taki los, zanim Słońce się wypali.

Gdyby tak się stało, coraz większa odległość Ziemi od Słońca powodowałaby ciągły spadek jej temperatury. Górne warstwy światowych oceanów zamarzałyby, podobnie jak wszystko na powierzchni planety. Gazy zawarte w atmosferze, głównie azot i tlen, skraplałyby się i kapały z nieba. Czy życie mogłoby przetrwać? Na powierzchni Ziemi byłoby to bardzo trudne zadanie. Jak jednak widzieliśmy, życie odnosi sukcesy i rzeczywiście mogło powstać w ciemnych kominach termicznych sterczących z dna oceanu. Światło słoneczne nie może przeniknąć nigdzie w pobliże takich głębokości, brak słońca więc nie będzie miał na nie wpływu. Zamiast tego znaczna część energii zasilającej kominy pochodzi z rozproszonych, ale nieustannych reakcji jądrowych[281]. Wnętrze Ziemi zawiera magazyn pierwiastków radioaktywnych (głównie toru, uranu i potasu), a ponieważ te niestabilne atomy się rozpadają, emitują one strumień cząstek energetycznych, które ogrzewają otoczenie. Zatem niezależnie od tego, czy Ziemia korzysta z ciepła wytwarzanego przez syntezę jądrową na Słońcu, czy też nie, będzie nadal sięgać po ciepło wytwarzane przez rozszczepienie jądra atomowego w jej wnętrzu. Gdyby Ziemia została wyrzucona z Układu Słonecznego, możliwe, że życie na dnie oceanu trwałoby przez miliardy lat, jakby nic nie zaszło[282].

Takie działanie gwiazd na podobieństwo samochodzików elektrycznych w wesołym miasteczku nie tylko będzie zaburzać układy słoneczne, lecz także w jeszcze dłuższej skali czasowej – również galaktyki. W takich zdarzeniach, gdy błądząca gwiazda przechodzi obok, lub jeszcze rzadziej, gdy następuje zderzenie czołowe, prędkość cięższej gwiazdy zmniejsza się, a lżejszej zwiększa. (Ustaw piłeczkę pingpongową na piłce do koszykówki, a gdy taki stos spadnie na ziemię i odbije się od niej, będziesz

świadkiem zderzenia, które spowoduje ogromny wzrost prędkości piłeczki pingpongowej)[283]. W każdym pojedynczym zdarzeniu takie wymiany będą zazwyczaj skromne, ale w ogromnej skali czasu skumulowany efekt może doprowadzić do znacznych zmian prędkości gwiazd. Rezultatem będzie stały zbiór gwiazd, które uzyskały taką prędkość, że uciekają ze swojej galaktyki. Szczegółowe obliczenia pokazują, że w miarę jak będziemy mijać 19. piętro i podążać w kierunku 20., typowe galaktyki zostaną zredukowane w wyniku tego procesu. Ich gwiazdy, głównie spopielone szczątki, zostaną wyrzucone i będą dryfowały bez celu w przestrzeni kosmicznej[284].

Porządek astronomiczny powszechnie występujący w układach słonecznych i galaktykach zniknie; struktury te, obecnie wszechobecne, staną się wzorcami, które Wszechświat posłał na emeryturę.

Fale grawitacyjne i ostatnia duża część przestrzeni

Jeśli Ziemia będzie miała szczęście i zejdzie z drogi pęczniejącemu Słońcu na 11. piętrze oraz jeśli uniknie wyrzucenia z Układu Słonecznego na skutek niechcianej wizyty gwiezdnych sąsiadek, jej ostateczny los określi pewna piękna cecha ogólnej teorii względności, *fale grawitacyjne*.

Wyjaśniając ważną, ale abstrakcyjną koncepcję ogólnej względności, jaką jest zakrzywiona czasoprzestrzeń, fizycy często przywołują znajomą metaforę: wyobrażamy sobie planety krążące wokół gwiazdy, jakby były to marmurowe kulki toczące się po napiętej gumowej powierzchni zdeformowanej przez kulę do kręgli umieszczoną w punkcie centralnym. Ta metafora rodzi pytanie: Dlaczego planety nie spadają po spirali do środka, w kierunku gwiazdy? Przecież taki los czeka kulki[285]. Odpowiedź jest taka, że kulki toczą się po spirali do wewnątrz, ponieważ tracą energię w wyniku tarcia. Można to zauważyć nawet bez żadnego wymyślnego sprzętu: część utraconej energii trafia do naszych uszu, bo słyszymy dźwięk kulek toczących się po gumowej powierzchni.

Orbitujące planety utrzymują swój ruch, ponieważ w pustej przestrzeni nie ma praktycznie żadnego tarcia.

Nawet jeśli tarcie nie jest czynnikiem, planeta traci niewielką ilość energii na każdym okrążeniu orbity. Gdy obiekty astronomiczne się poruszają, zaburzają strukturę przestrzeni, wytwarzając fale rozchodzące się na zewnątrz, podobne do tych, które powstałyby na gumowej powierzchni, gdyby stale w nią stukać. Takimi falami czasoprzestrzeni kosmicznej są fale grawitacyjne, które Einstein przewidział w publikacjach z 1916 i 1918 roku. W następnych dziesięcioleciach Einstein miał mieszane uczucia co do fal grawitacyjnych; postrzegał je w najlepszym przypadku jako zwykłą teoretyczną możliwość, która nigdy nie zostanie zaobserwowana, a w najgorszym – jako błędną interpretację równań. Matematyka ogólnej względności jest tak subtelna, że nawet Einstein był czasami skonsternowany. Wielu uczonych przez lata opracowywało systematyczne metody przezwyciężania trudnych zagadnień, które mogłyby uniemożliwić połączenie matematycznych wzorów ogólnej teorii względności z mierzalnymi cechami świata. W latach sześćdziesiątych XX wieku posługujący się takimi metodami fizycy zyskali pewność, że fale grawitacyjne są niepodważalną konsekwencją tej teorii. Mimo to nikt nie otrzymał żadnych eksperymentalnych ani obserwacyjnych dowodów na to, że fale te rzeczywiście istnieją.

Mniej więcej 15 lat później się to zmieniło. W 1974 roku Russell Hulse i Joe Taylor odkryli pierwszy układ podwójny gwiazd neutronowych – parę gwiazd neutronowych okrążających się szybko na wspólnej orbicie[286]. Kolejne obserwacje wykazały, że wraz z upływem czasu orbita gwiazd neutronowych zacieśnia się, co było dowodem na to, że układ podwójny traci energię. Dokąd energia ulatywała?[287]Taylor i jego współpracownicy, Lee Fowler i Peter McCulloch, ogłosili, że zmierzona utrata energii orbitalnej jest zgodna z prognozą ogólnej teorii względności dla energii, którą orbitujące gwiazdy neutronowe powinny tracić na rzecz fal grawitacyjnych[288]. Mimo że wytwarzane fale grawitacyjne były zbyt słabe, aby dało się je wykryć, prace te wykazały, choć pośrednio, iż fale grawitacyjne są realne.

Trzydzieści lat i miliard dolarów później Obserwatorium Laserowego Interferometru Fal Grawitacyjnych (LIGO) poszło dalej, dokonując pierwszego bezpośredniego wykrycia fal w strukturze czasoprzestrzeni. Wczesnym rankiem 14 września 2015 roku dwa ogromne detektory drgnęły, jeden w Luizjanie, a drugi w stanie Waszyngton, oba ekranowane przed wszelkimi możliwymi zakłóceniami oprócz fali grawitacyjnej. I oba zachowały się w ten sam sposób. Naukowcy przygotowywali się do tej chwili od prawie pół wieku, ale zakończyli kalibrację nowo zmodernizowanych detektorów zaledwie dwa dni wcześniej. Niemal natychmiastowe wykrycie sygnału było zarówno zaskoczeniem, jak i źródłem obaw. Czy to stało się naprawdę? Czy było to odkrycie życia, czy robota żartownisia – lub, co gorsza, czy ktoś włamał się do systemu i wprowadził fałszywy sygnał?

Po miesiącach skrupulatnej analizy, kontroli i ponownego sprawdzania szczegółów rzekomych zaburzeń grawitacyjnych naukowcy ogłosili, że fala grawitacyjna rzeczywiście przeszła przez Ziemię. Co więcej, dokładnie analizując drgania i porównując je z wynikami symulacji fal grawitacyjnych pochodzących z różnych zdarzeń astronomicznych, na podstawie sygnału określili jego źródło. Doszli do wniosku, że 1,3 miliarda lat temu, kiedy organizmy wielokomórkowe właśnie zaczynały się łączyć na Ziemi, dwie odległe czarne dziury krążyły coraz bliżej siebie i coraz szybciej, zbliżając się do prędkości światła, aż w końcowym szale orbitalnym zderzyły się ze sobą. Zderzenie wywołało falę pływową w kosmosie, grawitacyjne tsunami tak ogromne, że jego moc przekroczyła moc wytwarzaną przez wszystkie gwiazdy ze wszystkich galaktyk obserwowalnego Wszechświata. Fala wyruszyła we wszystkich kierunkach z prędkością światła, a więc część skierowała się w stronę Ziemi, tracąc swą moc, ponieważ rozprzestrzeniała się coraz bardziej. Około 100 tysięcy lat temu, gdy ludzie opuszczali afrykańskie sawanny, fala przeszła przez halo ciemnej materii otaczające Drogę Mleczną. Mniej więcej 100 lat temu przeleciała obok gromady gwiazd Hiad, a w tym czasie jeden osobnik naszego gatunku, Albert Einstein, zaczął myśleć o falach grawitacyjnych i napisał pierwsze prace na temat takiej możliwości. Około 50 lat później, gdy fala już przeszła, inni badacze

odważnie zasugerowali, że takie fale da się wykryć, i zaczęli projektować urządzenie, które może tego dokonać. A gdy fala była tylko dwa dni świetlne od Ziemi, nowo zmodernizowana wersja najbardziej zaawansowanego z tych detektorów została przygotowana do pracy. Dwa dni później oba detektory drgały przez 200 milisekund, zbierając dane, które pozwoliły naukowcom zrekonstruować historię powyżej opowiedzianą. Za to osiągnięcie liderzy zespołu: Ray Weiss, Barry Barish i Kip Thorne, otrzymali w 2017 roku Nagrodę Nobla.

Odkrycia te, same w sobie ekscytujące, są tutaj istotne, ponieważ to właśnie na 23, piętrze Ziemia (znów zakładamy, że jest nadal na orbicie), utraciwszy energię na skutek innej wersji tego samego procesu – powolnej, ale nieustającej produkcji fal grawitacyjnych – ruchem spiralnym opadnie na martwe od dawna Słońce. Dla innych planet historia jest podobna, chociaż ramy czasowe mogą się różnić. Mniejsze planety delikatniej zaburzają czasoprzestrzeń i dłużej trwa ich spirala śmierci, podobnie jak u tych, których orbity znajdują się dalej od ich gwiazdy macierzystej. Biorąc pod uwagę, że Ziemia jest reprezentantem planet, które mogą uporczywie utrzymywać się na orbicie, dochodzimy do wniosku, że do 23. piętra takie planety, pogodzone z losem, zanurkują do ostatecznej, gwałtownej jedności z ich zimnym słońcem.

Na tych końcowych etapach galaktyki będą wypełniać analogiczną sekwencję. W centrum większości galaktyk znajduje się ogromna czarna dziura, miliony, a nawet miliardy razy masywniejsza od Słońca. Gdy będziemy wspinać się w górę z 23. piętra, jedyne gwiazdy, które pozostaną w galaktykach, to wypalone żużle, które, unikając wyrzucenia, będą powoli orbitować wokół centralnej czarnej dziury galaktyki. I podobnie jak planety powoli po spirali spadają do środka, gdy ich energia orbitalna jest tracona na rzecz fal grawitacyjnych, to samo dzieje się z gwiazdami krążącymi wokół galaktycznej czarnej dziury. Oszacowując tempo tego procesu utraty energii, badacze doszli do wniosku, że na 24. piętrze większość szczątków gwiezdnych zostanie pochłonięta, wpadając w ciemną, centralną otchłań ich galaktyki[289]. Jeśli galaktyka będzie miała błąkające się, wypalone gwiazdy, które są małe i odległe, centralna

czarna dziura będzie w ramach pomocy nieustannie ciągnąć je ku sobie, nakłaniając je do dryfowania ku śmierci. W konsekwencji obu tych czynników centralne czarne dziury wymiotą większość galaktyk z gwiazd do 30. piętra, 10^{30} lat od Wielkiego Wybuchu, o ile nie wcześniej.

W tym czasie objazd kosmosu nie będzie już hucznym wydarzeniem. Tu i ówdzie pojawią się zimne planety, wypalone gwiazdy i monstrualne czarne dziury, a przestrzeń będzie ciemna i spustoszona.

Los materii złożonej

Czy życie pośród ekstremalnych zmian środowiskowych, z którymi się tu spotkaliśmy, może dalej trwać? Jest to trudne pytanie, ponieważ, jak podkreślono na początku tego rozdziału, nie mamy pojęcia, jak będzie ono wyglądało w odległej przyszłości. Jedną z pozornie pewnych cech charakterystycznych jest to, że życie każdego rodzaju będzie musiało zasilać odpowiednią energią swoje funkcjonowanie – metabolizm, reprodukcję itp. Gdy gwiazdy się wypalą, zostaną wyrzucone w głęboką przestrzeń lub wpadną do wszystkożernych czarnych dziur, zadanie to stanie się coraz trudniejsze. Istnieją twórcze pomysły, takie jak wykorzystanie cząstek ciemnej materii, które, jak sądzimy, znajdują się w przestrzeni kosmicznej i mogą dostarczać energię w postaci fotonów podczas zderzeń ich par[290]. Jednak nawet jeśli jakaś forma życia będzie w stanie wykorzystać nowe źródło użytecznej energii, prawdopodobnie pojawi się kolejne wyzwanie, bardziej istotne niż wszystkie inne.

Materia sama może się zniszczyć.

Pośrodku wszystkich atomów, z których składają się wszystkie cząsteczki, jakie z kolei są elementami złożonych struktur materialnych od życia do gwiazd, znajdują się protony. Gdyby protony miały skłonność do rozpadania się na lżejsze cząstki (takie jak elektrony i fotony), materia by się rozsypała i Wszechświat zmieniłby się radykalnie[291]. Nasze istnienie świadczy o stabilności protonów, przynajmniej w tym czasie, który upłynął od Wielkiego

Wybuchu. A co z ogromnymi skalami czasu, które teraz rozważamy? Od prawie pół wieku fizycy spotykają się z intrygującymi wskazówkami matematycznymi sugerującymi, że w ciągu tak długiego okresu protony mogą w istocie się rozpadać.

Już w latach siedemdziesiątych XX wieku fizycy Howard Georgi i Sheldon Glashow opracowali pierwszą *wielką teorię unifikacji*, która łączy trzy oddziaływania niegrawitacyjne[292]. Chociaż oddziaływania silne, słabe i elektromagnetyczne mają diametralnie odmienne właściwości, gdy bada się je w eksperymentach, w teorii Georgiego i Glashowa różnice te stają się coraz mniejsze, gdy oddziaływania występują na coraz mniejszych odległościach. Wielka unifikacja proponuje więc, aby te trzy oddziaływania były w rzeczywistości różnymi aspektami jednego nadrzędnego oddziaływania, jednością działania natury, która ujawnia się tylko w najmniejszej skali odległości.

Georgi i Glashow zdali sobie sprawę, że wraz z wielką unifikacją oddziaływań pojawią się nowe pokrewieństwa cząstek materii. A takie pokrewieństwa pozwalają na wiele nowych przemian cząstek, w tym takich, które w rezultacie skutkują rozpadem protonów. Na szczęście proces ten byłby powolny. Obliczenia wykazały, że gdybyście trzymali w ręku kilka protonów i czekali, aż połowa z nich się rozpadnie, to musielibyście ściskać je przez niemal 1000 miliardów miliardów miliardów lat, wystarczająco długo, by wejść na 30. piętro Empire State Building. To ciekawe przewidywanie, które wydaje się nie do zweryfikowania. Kto miałby tyle cierpliwości, aby to sprawdzić?

A jednak jest na to prosty sposób. Szanse na wygranie cotygodniowej loterii będą prawie żadne, jeśli państwo zdoła sprzedać tylko garść losów, ale znacznie wzrosną, jeśli sprzedaż losów się zwiększy, podobnie szanse rozpadu protonu w małej próbce są prawie żadne, ale znacznie wzrosną, jeśli wielkość próbki zostanie zwiększona[293]. Wypełnijmy więc ogromną kadź milionami galonów[294] chemicznie czystej wody (w każdym galonie jest około 10^{26} protonów), otoczmy ją niezwykle czułymi detektorami i uważnie, w dzień i w nocy, wypatrujmy sygnału rozpadu protonu (który,

zgodnie z propozycją Georgiego–Glashowa, jest cząstką znaną jako *pion*, wraz z *antyelektronem*).

Poszukiwanie resztek jednego rozpadu protonu w morzu jego towarzyszy tak licznych, że ich populacja znacznie przewyższa ziarna piasku wszystkich plaż i wszystkich pustyń na planecie, może wydawać się szukaniem wiatru w polu. Jednak faktem jest, że genialne zespoły fizyków doświadczalnych udowodniły jednoznacznie, że gdyby proton w zbiorniku miał się rozpaść, ich detektory włączyłyby alarm.

Należałem do studentów Georgiego w połowie lat osiemdziesiątych, kiedy jego teoria unifikacji była wystawiana na próbę. Byłem studentem studiów licencjackich, studiującym bardziej podstawowy materiał, nie do końca więc rozumiałem, co się dzieje, ale wyczuwałem oczekiwania. Marzenie, które tak napędzało Einsteina – jedność natury – miało się wkrótce ujawnić. Potem minął rok bez dowodów na rozpad pojedynczego protonu. A potem kolejny rok. I kolejny. Brak obserwacji rozpadu protonów umożliwił badaczom ustalenie dolnej granicy życia protonu, która obecnie wynosi około 10^{34} lat.

Propozycja Georgiego i Glashowa jest wspaniała. Odkładając zagadki kwantowej grawitacji na później, ich teoria obejmuje pozostałe trzy oddziaływania natury, jak również wszystkie cząstki materii, w eleganckim, rygorystycznym i kunsztownym połączeniu matematyki i fizyki. Jest to intelektualny majstersztyk. A jednak na ich propozycję natura wzruszyła ramionami. Dużo później rozmawiałem o tym z Georgim. Opisał to rozczarowujące doświadczenie jako „policzek otrzymany od natury”. To doznanie nastawiło go przeciwko całemu programowi unifikacji[295].

Mimo to program unifikacji był kontynuowany. I jest kontynuowany. Wspólną cechą niemal każdego realizowanego podejścia do tego zagadnienia – takiego jak teoria Kaluzy–Kleina, supersymetria, supergrawitacja, superstruny, a także rozwinięcia wielkiej unifikacji Georgiego i Glashowa (o których można przeczytać w *Pięknie Wszechświata*) – jest to, że zakłada się w nich rozpad protonów. Wersje, w których tempo takiego rozpadu jest zbliżone do pierwotnego schematu Georgiego i Glashowa, są natychmiast

wykluczane. Jednak wiele proponowanych teorii unifikacji przewiduje wolniejsze tempo rozpadu protonów, zgodne z najbardziej wyrafinowanymi granicami eksperymentalnymi. Typowe liczby wahają się od 10^{34} lat do 10^{37} lat, a niektóre przewidywania są jeszcze dłuższe.

Chodzi o to, że w miarę jak rozwijał się matematyczny opis kosmosu, rozpad protonu pojawiał się prawie na każdym kroku. Możliwe jest dostosowanie równań, tak aby uniknąć rozpadu protonu, ale osiągnięcie tego celu często wymaga manipulacji matematycznych przeczących teoretycznym wyjaśnieniom, które okazały się istotne dla rzeczywistości. Z tego powodu wielu teoretyków przewiduje, że protony faktycznie ulegają rozpadowi. Może to być błędne przewidywanie i w uwagach końcowych krótko rozważam alternatywę. Jednak tutaj, dla pewności, długość życia protonu przyjmuję jako 10^{38} lat.

Wynika z tego, że gdy będziemy wspinać się w górę z 38. piętra, każdy atom, który stał się częścią jakiejkolwiek cząsteczki, która stała się częścią jakiejkolwiek struktury, która kiedykolwiek pojawiła się w kosmosie – skały, woda, króliki, drzewa, ty, ja, planety, księżyce, gwiazdy i tak dalej – się rozpadnie. Wszystko się rozpadnie. Wszechświat pozostanie w postaci płynących przez kosmos pojedynczych cząstek elementarnych, głównie elektronów, pozytonów, neutrin i fotonów, z rozsianymi tu i ówdzie nieruchomymi żarłocznymi czarnymi dziurami.

Na niższych kondygnacjach dominującym wyzwaniem dla życia jest wykorzystanie energii o niskiej entropii i odpowiedniej jakości do zasilania procesów materii ożywionej. Od 38. piętra w górę wyzwanie staje się bardziej podstawowe. Wraz z rozpadem atomów i molekuł życie i większość obiektów w kosmosie będzie się rozpadać. Jeśli więc życie wytrzymało tak długo, czy teraz nadejdzie jego ostateczny koniec? Być może. A może być też tak, że w rozważanej przez nas skali czasu – ponad miliard miliard miliardów razy więcej niż obecny wiek Wszechświata – życie wyewoluuje do postaci, która nie będzie już potrzebować struktury biologicznej, jaką ma obecnie. Być może obecny typ życia i umysłu okaże się lichy

i nieporadny w stosunku do przyszłych wcieleń, które mogłyby mieć całkiem nową postać.

U podstaw takich rozważań leży założenie, że życie i umysł nie są zależne od żadnego konkretnego fizycznego podłoża, takiego jak komórki, ciała i mózgi, lecz są zbiorami zintegrowanych procesów. Do tej pory biologia była monopolistką życia, ale to może tylko kaprys ewolucji zachodzącej w wyniku doboru naturalnego na planecie Ziemi. Jeśli jakieś inne uporządkowanie cząstek elementarnych może realizować procesy życia i funkcje umysłu, to taki układ będzie żywy i będzie myślał.

Nasze podejście polega na przyjęciu jak najszerszego punktu widzenia i rozważaniu takiej możliwości, że nawet wobec braku złożonych struktur zbudowanych z atomów i molekuł może istnieć jakiś rodzaj myślącego umysłu. Przyjmując jedyne, ale bardzo stanowcze ograniczenie, polegające na tym, że proces myślowy w pełni podlega prawom fizyki, pytamy więc, czy myślenie może trwać bez końca.

Przyszłość myślenia

Ocena przyszłości myślenia może wydawać się klasycznym aktem pychy. Dzięki osobistemu doświadczeniu każdy z nas wie, jak to jest myśleć, ale jak stało się jasne w rozdziale 5, naukowe ujęcie umysłu pozostaje jeszcze na wczesnym etapie. Naukowe ujęcie ruchu zaczęło się od praw Newtona i w niecałe trzy stulecia zastąpiły je radykalnie odmienne prawa Schrödingera, jak więc możemy mieć nadzieję, że powiemy coś istotnego o przyszłości myśli w skali czasu, w której miliard wieków jest ledwo zauważalny?

Pytanie to przywołuje jeden z naszych głównych wątków. Wszechświat możemy i musimy rozumieć z wielu punktów widzenia. Wynikające z tego wyjaśnienia, każde istotne dla konkretnych zagadnień, muszą ostatecznie zostać zsyntetyzowane w spójną narrację, ale można dokonać postępu w niektórych z tych kwestii nawet mimo ograniczonej wiedzy na temat wielu innych. Newton nie miał najmniejszego pojęcia o fizyce kwantowej, ale udało mu się

zrozumieć ten rodzaj ruchu, z jakim spotykamy się w naszej codzienności. Kiedy pojawiła się fizyka kwantowa, gmach zbudowany przez Newtona nie został zburzony. Tylko odnowiony. Mechanika kwantowa dała nowy fundament, który rozszerzył zasięg nauki i zapewnił newtonowskiemu opisowi nową interpretację.

Jest możliwe, że dzisiejsze rozważania matematyczne na temat przyszłości umysłu okażą się nieistotne. Przecież, o ile nie jesteście szczególnie dobrze zorientowani w historii fizyki i filozofii, prawdopodobnie nigdy nie słyszeliście o entelechialnym opisie ruchu Arystotelesa lub „ogniu w oku" – teorii widzenia Empedoklesa. W miarę naszych ludzkich badań pewne koncepcje – cóż, wiele koncepcji – z pewnością okazują się wprost błędne. Tak jak w przypadku fizyki newtonowskiej, istnieje również szansa, że takie rozważania na temat umysłu pewnego dnia zostaną uznane za część bogatej historii. To właśnie z tym poczuciem optymizmu, racjonalnym i powściągliwym, rozważamy daleką przyszłość myślenia.

W 1979 roku Freeman Dyson napisał wizjonerskie opracowanie na temat dalekiej przyszłości życia i umysłu. Podążymy jego śladem, uwzględniając aktualizacje oparte na nowszych osiągnięciach teoretycznych i obserwacjach astronomicznych. Podejście Dysona, podobnie jak nasze na tych stronach, przyjmuje fizykalistyczną wizję umysłu, uznając akt myślenia za proces fizyczny w pełni podlegający prawom fizyki. A ponieważ mamy dość dobre pojęcie o tym, jak ogólne własności Wszechświata będą ewoluować w dalekiej przyszłości, możemy zbadać, czy nadal będą istniały środowiska sprzyjające procesowi myślenia.

Zacznijmy od mózgu. Poza innymi jego cechami jest on gorący. Nieustannie pobiera energię, którą dostarczasz mu przez jedzenie, picie i oddychanie; podejmuje wiele procesów fizykochemicznych, które modyfikują jego szczegółową konfigurację (reakcje chemiczne, przemiany molekularne, ruchy cząsteczek i tak dalej) i uwalnia do środowiska straty energetyczne w postaci ciepła. Gdy twój mózg myśli (i robi to wszystko, co jeszcze robi mózg), wykonuje cykl, z którym po raz pierwszy spotkaliśmy się w rozdziale 2 podczas analizy maszyn cieplnych. Podobnie jak w tamtym cyklu ciepło

uwalniane przez mózg do środowiska unosi ze sobą entropię, która została wchłonięta lub wytworzona na skutek mechanizmu jego działania.

Jeśli z jakiegokolwiek powodu maszyna cieplna nie jest w stanie wyeliminować swojej nagromadzonej entropii, prędzej czy później zawiedzie. Podobny los spotka mózg, który z jakiegokolwiek powodu nie zdoła usunąć nieustannie gromadzonej w czasie jego funkcjonowania entropii. A mózg, który zawodzi, jest mózgiem, który już nie myśli. W tym tkwi potencjalne wyzwanie dla trwałości myślenia opartego na procesach zachodzących w mózgu. Czy w miarę jak Wszechświat będzie się w przyszłości rozwijał coraz bardziej, mózgi utrzymają zdolność do usuwania wytwarzanych przez siebie strat cieplnych?

Nikt nie oczekuje stałej obecności mózgu, gdy będziemy wspinać się od chwili obecnej na coraz wyższe piętra. I z pewnością, zanim wzniesiemy się na tyle wysoko, że atomy zaczną rozpadać się na bardziej podstawowe cząstki, złożone kompleksy molekularne wszelakiego rodzaju będą stawać się coraz rzadsze. Jednak wymóg diagnostyczny, jakim jest zdolność do wydalania odpadów cieplnych, jest tak fundamentalny, że odnosi się do każdej konfiguracji, która podejmuje proces myślenia. Zasadnicze pytanie brzmi więc, czy taka jednostka – nazwijmy ją Myślicielem – niezależnie od tego, jak jest zaprojektowana lub skonstruowana, może wydalać ciepło, które jej myślenie siłą rzeczy wytwarza. Jeśli Myśliciel tego nie zrobi, to przegrzeje się i spłonie we własnych odpadach entropii. A jeśli ograniczenia narzucone przez prawa fizyki w rozszerzającym się Wszechświecie spowodują, że żaden Myśliciel, prędzej czy później, nie będzie w stanie nigdzie wykonać tego nieodzownego zadania usuwania entropii, to przyszłość samego myślenia będzie zagrożona.

Aby ocenić przyszłość myślenia, musimy więc zrozumieć fizykę myśli. Ile energii potrzebuje myśl Myśliciela i ile entropii wytwarza proces myślenia? W jakim tempie Myśliciel musi wydalać straty cieplne i w jakim tempie Wszechświat może je wchłonąć?

Spowalnianie myślenia

Wcześniej, w rozdziale 2, podkreśliłem, że entropia jest liczbą zmian konfiguracji mikroskopowych składników układu fizycznego – jego cząstek – które „wyglądają prawie tak samo". Istnieje szczególnie użyteczny sposób, aby wyrazić to inaczej podczas analizy Myśliciela. Jeśli układ ma niską entropię, to konfiguracja jego cząstek jest jedną z niewielu możliwości, które wyglądają tak samo – jednym z niewielu sobowtórów. W związku z tym jeśli powiem, którą konfigurację wśród tych możliwych układ faktycznie realizuje, udostępnię tylko niewiele informacji. Podobnie gdy wskażę jedną konkretną puszkę zupy pomidorowej Campbella na skromnie zaopatrzonej półce sklepu spożywczego, wyróżniam tę konkretną konfigurację cząstek wśród niewielkiej liczby innych. Jeśli układ ma wysoką entropię, to konfiguracja jego cząstek jest jedną z wielu możliwości, które wszystkie wyglądają tak samo wśród wielu sobowtórów. W związku z tym jeśli powiem, którą konfigurację spośród tych możliwych układ rzeczywiście realizuje, to zapewnię zbiór informacji. Podobnie jak w przypadku puszki zupy pomidorowej na przepełnionej półce sklepu spożywczego, wyróżnię tę szczególną konfigurację cząstek spośród ogromnej liczby możliwości. Zatem dla układu o niskiej entropii jego konfiguracja cząstek zawiera mało informacji; dla układu o wysokiej entropii jego konfiguracja cząstek zawiera dużo informacji.

Związek między entropią a informacją jest ważny, ponieważ niezależnie od tego, gdzie odbywa się myślenie – w ludzkim mózgu czy w abstrakcyjnym Myślicielu – myślenie jest przetwarzaniem informacji. Połączenie informacja–entropia mówi nam zatem, że przetwarzanie informacji, funkcję myślenia, możemy również opisać jako przetwarzanie entropii. A ponieważ, jak można sobie przypomnieć z rozdziału 2, przetwarzanie entropii – przenoszenie jej z jednego miejsca w drugie – wymaga przekazywania ciepła, mamy tu do czynienia z mieszaniem się trzech pojęć: myśli, entropii i ciepła. Dyson wykorzystał matematyczną wersję związków zachodzących między każdym z nich, aby określić ilość ciepła, które Myśliciel musi wydalić w związku z liczbą myśli, które tworzy. (Dla zainteresowanych matematyką wzór ten znajduje się w przypisach końcowych)[296]. Wiele myśli oznacza, że trzeba wydalić wiele ciepła. Mniej myśli – że musi on oddać mniej ciepła.

Zatem aby zasilać swoje myślenie, Myśliciel musi uzyskać energię z otoczenia. A ponieważ ciepło samo w sobie jest formą energii, ilość energii, którą Myśliciel przyjmuje, musi być przynajmniej równie duża, jak ilość ciepła, którą musi on wydalić. Energia wejściowa ma wyższą jakość (dzięki czemu Myśliciel może ją łatwo wykorzystać) niż ciepło wydalane (które jest odpadem i tym samym zostanie rozproszone), ale Myśliciel nie może oddać go więcej, niż wchłonął. Obliczenia Dysona wyznaczają więc minimalny poziom energii o wysokiej jakości, którą Myśliciel musi zaabsorbować ze środowiska, tym samym określając ilościowo wyzwanie: gdy gwiazdy się wypalają, układy słoneczne się rozpadają, galaktyki się rozpraszają, materia się rozpada, a Wszechświat się rozszerza i ochładza, Myśliciel stanie przed coraz trudniejszym zadaniem zgromadzenia skoncentrowanej energii o wysokiej jakości i niskiej entropii, której potrzebuje do myślenia. W sytuacji gdy zaopatrzenie staje się niewystarczające, myśliciel potrzebuje skutecznej strategii zarządzania zasobami i odpadami – szczegółowego planu pobierania energii o niskiej entropii i wydalania ciepła o wysokiej entropii. Podążając za Dysonem, wymyślmy taki plan.

W pierwszej kolejności przyjmijmy rozsądne założenie, że szybkość procesów wewnętrznych Myśliciela, jakiekolwiek one są, jest proporcjonalna do temperatury Myśliciela[297]. W wyższych temperaturach cząstki poruszają się szybciej, a więc Myśliciel myśli szybciej, szybciej zużywa energię i szybciej gromadzi odpady. W niższych temperaturach wszystko spowalnia. W obliczu Wszechświata, który się rozszerza, ochładza i kończy, Myśliciel, który aspiruje do tego, aby myśleć możliwie najdłużej, musi postawić na powstrzymanie strat, wykonując długie, powolne spalanie zamiast szybkiego, intensywnego błysku. Dlatego radzimy mu, aby poszedł w ślady Wszechświata: w miarę upływu czasu Myśliciel powinien stale obniżać swoją temperaturę, spowalniać myślenie i zmniejszać tempo, w jakim zużywa on coraz mniej dostępną energię wysokiej jakości.

Ponieważ myślenie to wszystko, co robi Myśliciel, perspektywa wolniejszego myślenia nie jest szczególnie atrakcyjna. Pocieszamy go: „Myślisz o tym wszystkim nie tak jak trzeba – mówimy. –

Ponieważ wszystkie twoje wewnętrzne procesy zwalniają wspólnie, twoje subiektywne doznania nie zmienią się wcale. Nie zauważysz żadnych zmian w twoim myśleniu. Być może dostrzeżesz, że różne procesy w otoczeniu przebiegają szybciej, ale twoje myśli wydają się jak zwykle żwawe". Myśliciel z ulgą zgadza się stosować tę strategię, ale wyraża jedną, ostatnią obawę. „Czy jeśli podążę za tą radą, będę w stanie tworzyć nowe myśli zawsze?"

To kluczowe pytanie, przewidzieliśmy więc, że Myśliciel je zada. I jesteśmy gotowi. Matematyka pokazuje, że podobnie jak w przypadku samochodu, którego spalanie paliwa w przeliczeniu kilometr na litr jest tym lepsze, im wolniej on jedzie, zużycie energii przez Myśliciela w przeliczeniu myśl na jednostkę energii jest tym lepsze, im wolniej on myśli. Oznacza to, że myślenie Myśliciela staje się coraz bardziej efektywne w coraz niższych temperaturach. Z tego powodu Myśliciel istotnie może stworzyć *nieskończoną* liczbę myśli i tylko potrzebować *skończonej* ilości energii. (Podobnie jak nieskończony ciąg składników sumy 1 + ½ + ¼ + ... daje w wyniku skończoną liczbę, w tym przypadku 2). Z niecierpliwością informujemy Myśliciela o wyniku: „Jeśli zaczniesz postępować zgodnie z planem, to nie tylko będziesz w stanie myśleć zawsze, ale też będziesz w stanie to robić mimo skończonego zapasu energii!"[298].

Szczęśliwy Myśliciel ma zamiar wprowadzić plan w życie, ale wtedy natrafiamy na nieoczekiwaną przeszkodę. Jest jeszcze jedna brzydka implikacja matematyki, którą dotychczas przeoczyliśmy: chłodniejsza filiżanka kawy oddaje mniej ciepła do otoczenia niż gorętsza, podobnie im chłodniejszy staje się Myśliciel, tym mniej ciepła, które generuje jego myślenie, jest on w stanie oddać. „Niewiele o mnie wiesz – przypomina Myśliciel – może więc należy zachować dyskrecję, zanim rozpowszechni się plotki, że mam problem z usuwaniem odpadów". Zrozumiałem. Jednak na tym naprawdę polega piękno obliczeń. Rozumowanie zakłada jedynie, że Myśliciel podlega znanym prawom fizyki i składa się z cząstek elementarnych, takich jak elektrony. Analiza jest więc całkowicie ogólna. Nie musimy nic wiedzieć o szczegółach fizjologii ani budowie Myśliciela, aby stwierdzić, że wraz z obniżeniem się jego temperatury tempo, w jakim może on usuwać entropię, spadnie poniżej tempa, w jakim

ją produkuje. Z tą świadomością nie mamy innego wyboru, jak tylko poinformować, że: „Chociaż coraz niższe temperatury są niezbędne dla możliwości przedłużania w czasie myślenia i czerpania w trakcie tego procesu z ograniczonych zapasów energii, nadejdzie moment, w którym entropia będzie się gromadzić szybciej, niż można ją wydalić. I od tego momentu, jeśli spróbujesz dalej myśleć, spalisz się we własnych myślach”[299].

Zanim przygnębiony Myśliciel zdąży to w pełni przemyśleć, jeden z członków naszego wyspecjalizowanego zespołu zaproponuje wyjście: hibernację. Myśliciel potrzebuje okresowo dać myśleniu odpocząć – wyłączyć umysł i pójść spać – zaprzestać produkcji entropii i kontynuować usuwanie ciepła strat. Jeśli przerwa w myśleniu jest wystarczająco długa, to po przebudzeniu się Myśliciel będzie miał usunięte wszystkie odpady i nie będzie już narażony na niebezpieczeństwo spalenia się. A ponieważ Myśliciel nie będzie myślał w okresie wyciszenia, kiedy się obudzi, nie zauważy nawet przerwy. Ośmieleni rozwiązaniem, które pierwotnie zaproponował Dyson w swoim przełomowym artykule, zapewniamy Myśliciela, że zgodnie z takim rytmem myślenie może trwać wiecznie.

Ale czy na pewno?

Ostatnia myśl o myśleniu

Dwa odkrycia, które nastąpiły w ciągu dziesięcioleci od publikacji artykułu Dysona, są szczególnie istotne dla tej strategii. Jedno z nich wyjaśnia związek między aktem myślenia a produkcją entropii, co prowadzi do niewielkiej reinterpretacji wyniku. Drugie bierze na cel przyspieszoną ekspansję przestrzeni, która może całkowicie podważyć konkluzję, umieszczając myśl bezpośrednio w krzyżu celownika entropii.

Po pierwsze, reinterpretacja. Istotą rozumowania Dysona jest założenie, że akt myślenia musi wytwarzać ciepło. Uwiarygodniłem to, przypominając, że myśl ma związek z informacją, informacja ma związek z entropią, a entropia z ciepłem. Jednak związki te są subtelne, a nowsze spostrzeżenia, w dużej mierze pochodzące

z informatyki, pokazują, że istnieją sprytne sposoby przetwarzania podstawowych informacji – takich jak jeden plus jeden równa się dwa – bez jakiejkolwiek degradacji energii[300]. Dzięki założeniu, że myśl i obliczenia mają tę samą naturę, Myśliciel uruchamiający taką strategię nie wytworzy żadnych odpadów.

Niemniej jednak podobne rozważania z dziedziny informatyki dowodzą, że ta wersja związku myśli – entropii – i ciepła, która motywowała naszą wstępną analizę, pozostaje nienaruszona, po prostu ma nieco inny charakter. Wyniki wskazują, że jeśli komputer *wymazuje* któryś ze swych banków pamięci, to musi powstać ciepło. (Przypomnijmy, że ciepło strat jest na ogół wytwarzane przez procesy nieodwracalne, takie jak np. stłuczenie szklanki; wymazanie danych utrudnia odwrócenie obliczeń, a więc nie jest szczególnie zaskakujące, że wymazywanie wytwarza ciepło)[301]. Jeśli weźmiemy to pod uwagę, nasza rada dla Myśliciela wymaga jedynie delikatnej modyfikacji. *Może* on myśleć i nie usuwać ciepła, o ile nigdy nie wymaże pamięci. Skoro jednak zakładamy, że Myśliciel ma skończone rozmiary, to będzie miał skończoną pojemność pamięci, która prędzej czy później wypełni się do granic swoich możliwości. Gdy to się stanie, wszystko, co mu pozostanie, to przemieszczanie informacji, które ma już w pamięci, czyli bez końca międlenie starych myśli – nie jest to wersja nieśmiertelności, którą wielu z nas wybrałoby. Jeśli Myśliciel chce mieć twórczą zdolność tworzenia nowych myśli, tworzenia nowych wspomnień, odkrywania nowych obszarów dla intelektu, to będzie musiał coś wymazać z pamięci, produkując w ten sposób ciepło, i powrócić do sytuacji omówionej w poprzednim rozdziale oraz zalecanej tam strategii hibernacji.

Drugie osiągnięcie jest bardziej niepokojące. Odkrycie, że ekspansja przestrzeni przyspiesza, stanowi nową i być może niemożliwą do pokonania przeszkodę dla niekończącego się procesu myślenia[302]. Jeśli, jak sugerują obecne dane, przyspieszona ekspansja będzie nadal trwać bez końca to, tak jak na 12. piętrze, odległe galaktyki znikną, jakby spadły z urwiska na skraju przestrzeni. Oznacza to, że jesteśmy otoczeni odległym sferycznym horyzontem, wyznaczającym granicę tego, co w zasadzie możemy zobaczyć. Wszystko, co znajduje się poza tą granicą, ucieka od nas

z prędkością większą niż światło, a więc żadne światło emitowane z takich odległości nigdy do nas nie dotrze. Fizycy nazywają tę odległą granicę naszym *horyzontem kosmologicznym*.

Można wyobrazić sobie odległy horyzont kosmologiczny jako ogromną poczerwienioną sferę, podobną do sferycznie rozłożonych grzejników, które wytwarzają temperaturę tła w przestrzeni. W następnym rozdziale wyjaśnię, dlaczego tak się dzieje (jest to ściśle związane z fizyką czarnych dziur, które też mają poczerwienione horyzonty, co odkrył Stephen Hawking), ale tutaj chcę podkreślić, że temperatura poczerwienionego horyzontu kosmologicznego jest zupełnie inna niż 2,7 kelwina mikrofalowej temperatury tła, pozostałości po Wielkim Wybuchu. Z czasem, gdy przestrzeń będzie się nadal rozszerzać, spadać będzie zarówno temperatura tła (aż do zera absolutnego), jak i natężenie mikrofalowego promieniowania tła. Temperatura wynikająca z istnienia horyzontu kosmologicznego zachowuje się inaczej. Jest ona stała. Jest bardzo niska, jak obliczono na podstawie zmierzonej szybkości przyspieszonej ekspansji, wynosi około 10^{-30} kelwina, ale jest trwała. A na dłuższą metę trwałość ma znaczenie.

Ciepło spontanicznie płynie tylko od obiektów gorętszych do chłodniejszych. Kiedy temperatura Myśliciela jest wyższa niż temperatura Wszechświata, ma on możliwość wypromieniowania swojego ciepła strat w przestrzeń. Gdyby zaś temperatura Myśliciela spadła poniżej temperatury przestrzeni kosmicznej, ciepło popłynęłoby w innym kierunku – z przestrzeni do niego – udaremniając Myślicielowi pozbycie się ciepła strat. Oznacza to, że strategia hibernacji jest skazana na niepowodzenie. Ponieważ Myśliciel nadal obniża swoją temperaturę (co, pamiętaj, pozwala mu na nieskończoną kontynuację myślenia mimo skończonego zapasu energii), prędzej czy później osiągnie ona niewielką wartość 10^{-30} kelwina. W tym momencie gra jest skończona. Wszechświat nie zaakceptuje jego ciepła strat. Jeszcze jedna myśl (lub, ściślej, jeszcze jedno wymazanie) i Myśliciel się usmaży.

Wniosek opiera się na założeniu, że przyspieszone rozszerzanie się przestrzeni będzie trwać bez zmian. Nikt nie wie, czy tak się stanie. Przyspieszenie może się zwiększyć, przybliżając nas do Wielkiego

Rozdarcia, co jeszcze bardziej zmniejszy szanse przetrwania życia i myślenia. Równie dobrze może się zmniejszyć. W ten sposób unikniemy kosmologicznego horyzontu, odległe grzejniki wyłączą się i temperatura we Wszechświecie będzie spadać bez końca. Jak dowiedli fizycy Will Kinney i Katie Freese, ta kosmologiczna możliwość przywróciłaby pierwotny optymizm Dysona, pozwalając Myślicielowi, pilnie przestrzegającemu harmonogramu hibernacji, na kontynuację myślenia bez końca[303].

Daleko mi do tego, by pomniejszać samotny promyk nadziei na to, że myślenie ma przyszłość, ale warto podsumować, na czym stoimy. Cały nasz łańcuch rozumowania jest oparty na optymizmie. We Wszechświecie, w którym może brakować wszystkiego, od gwiazd i planet aż po cząstki i atomy, założyliśmy, że Myśliciel może istnieć. Podczas gdy stabilne cząstki elementarne, takie jak elektrony, neutrina i fotony, będą znikać, trudno sobie wyobrażać, że można z nich stworzyć myślącą strukturę. Jednak aby utrzymać rozum otwarty możliwie szeroko, założyliśmy, że taką istotę da się stworzyć. I z pewnością miło jest się dowiedzieć, że jeśli Wszechświat rozszerza się we właściwy sposób, to istnieje przynajmniej szansa, że tacy Myśliciele mogą myśleć w nieskończoność. Mimo to trudno uniknąć wniosku, że daleka przyszłość myślenia jest niepewna.

Rzeczywiście, jeśli przyspieszona ekspansja nie zwolni, nadejdzie czas, kiedy myśl wykona swój ostatni ukłon. Nasze wiedza nie jest na tyle pewna, aby dokonać precyzyjnego przewidywania, ale wstawienie przybliżonych liczb do równań sugeruje, że może to nastąpić w ciągu 10^{50} lat. Wielką niewiadomą, jak zauważyliśmy na początku, jest to, czy inteligentne życie będzie w stanie ingerować w rozwój kosmosu, być może wpływać na ewolucję gwiazd i galaktyk, wydobywać nieoczekiwane źródła energii o wysokiej jakości, a nawet kontrolować tempo ekspansji przestrzeni. Ze względu na złożoność inteligencji nie da się tu wtrącić niczego więcej niż tylko dzikie domysły, dlatego zdecydowałem się tego tematu nie podejmować. Odkładając więc inteligentną interwencję na bok i pilnie przestrzegając drugiego prawa termodynamiki,

dochodzimy do wniosku, że zanim wejdziemy na 50. piętro, Wszechświat może gościć swoją ostateczną myśl.

W większości skal, nad jakimi się ludzie zastanawiali, 10^{50} lat to spektakularnie długi okres. Ponad miliard miliardów miliardów razy może w nim się zmieścić przedział czasu od Wielkiego Wybuchu do dziś. Jednak biorąc pod uwagę skalę czasu, powiedzmy, 75. piętra, 10^{50} lat to moment – znacznie krótsza chwilka, śmiesznie krótsza niż opóźnienie, jakie pojawia się między włączeniem lampy a dotarciem światła do naszych oczu. I, oczywiście, jeśli Wszechświat jest wieczny, to każdy czas trwania, jakkolwiek długi, jest nieskończenie mały. Narracja z perspektywy tych większych skal wyglądałaby tak: w chwilę po Wielkim Wybuchu powstało życie, krótko kontemplowało swe istnienie w obojętnym kosmosie i zniknęło. Jest to kosmiczne podsumowanie biadania Pozza, gdy uskarża się na oczekujących na Godota: „rodzą okrakiem na grobie, światło świeci przez chwilę, a potem znów noc”[304].

Niektórzy uznają tę przygnębiającą przyszłość. Nawet mając mniejszą wiedzę pochodzącą z połowy XX wieku, Bertrand Russell, którego ocenę poznaliśmy w rozdziale 2, z pewnością to uczynił. Mój pogląd jest inny. Dla mnie przyszłość, którą obecnie przewiduje nauka, zwraca uwagę na to, że nasz moment myślenia, nasza chwila światła, jest jednocześnie rzadki, cudowny i cenny.

264 Niektórzy wybitni myśliciele sugerowali, że ludzka ewolucja zbliżyła się do końca. Na przykład Stephen Jay Gould zauważył, że z punktu widzenia biologii ludzie są dziś zasadniczo tacy sami jak ci żyjący jeszcze pięćdziesiąt tysięcy lat temu (Stephen Jay Gould, *The spice of life*, „Leader to Leader” 2000, nr 15, s. 14–19). Inni badacze, analizujący ludzki genom, twierdzili wręcz przeciwnie, że tempo ewolucji człowieka jest coraz szybsze (zob. np. John Hawks, Eric T. Wang, Gregory M. Cochran i in., *Recent acceleration of human adaptive evolution*, „Proceedings of the National Academy of Sciences” 2007, nr 104 (52), s. 20753–20758; Wenqing Fu, Timothy D. O’Connor, Goo Jun i in., *Analysis of 6,515 exomes reveals the recent origin of most human protein-coding variants*, „Nature” 2013, nr 493, s. 216–220). Badania różnych populacji dostarczyły dowodów na stosunkowo niedawną ewolucję genetyczną, jako przykład warto przytoczyć porównanie wzrostu holenderskich mężczyzn, którego wyjątkowy średni przyrost może odzwierciedlać skutki doboru płciowego oraz naturalnego (Gert Stulp, Louise Barrett, Felix C. Tropf, Melinda Mill, *Does natural selection favour taller stature among the tallest people on earth?*, „Proceedings of the Royal Society B” 2015,

nr 282 (1806), s. 20150211) i adaptację do środowisk wysokogórskich (Abigail Bigham i in., *Identifying signatures of natural selection in Tibetan and Andean populations using dense genome scan data*, „PLoS Genetics" 2010, nr 6 (9), s. e1001116.

265 Choongwon Jeong, Anna Di Rienzo, *Adaptations to local environments in modern human populations*, „Current Opinion in Genetics & Development" 2014, nr 29, s. 1–8; Gert Stulp, Louise Barrett, Felix C. Tropf, Melinda Mill, *Does natural selection favour taller stature*… (zob. przyp. 264 powyżej).

266 Istoty z filmu *Avatar* (przyp. tłum.).

267 Ostrożne rozważania na temat tego założenia zawarte są w: Steven Carlip, *Transient Observers and Variable Constants, or Repelling the Invasion of the Boltzmann's Brains*, „Journal of Cosmology and Astroparticle Physics" 2007, nr 06, s. 001. Zauważmy, że jednym takich zjawisk może być zmiana wartości ciemnej energii. Jak wspomniałem w tym rozdziale, dopiero pod koniec lat dziewięćdziesiątych obserwacje astronomiczne przekonały fizyków, że wyeliminowanie przez Einsteina stałej kosmologicznej w 1931 roku („największa pomyłka jego życia") było przedwczesne. Przedwczesne było też nazwanie stałej kosmologicznej „stałą". Jest całkiem możliwe, że wielkość członu kosmologicznego Einsteina zmienia się w czasie, co, jak zobaczymy, ma głębokie implikacje na przyszłość.

268 Z inną perspektywą przyszłości inteligencji można się zapoznać w: David Deutsch, *The Beginning of Infinity*, Viking, Nowy Jork 2011.

269 Fizyczna eschatologia, fizyka dalekiej przyszłości, cieszy się mniejszą uwagą niż fizyka dalekiej przeszłości, mimo to przeprowadzono wiele badań w tym zakresie. Obszerna lista źródeł zob.: Milan M. Ćirković, *Resource Letter: PEs-1, Physical Eschatology*, „American Journal of Physics" 2003, nr 71, s. 122. We wspomnianej dyskusji szczególny wpływ wywarła publikacja Freemana Dysona, *Time without end: Physics and biology in an open universe*, „Reviews of Modern Physics" 1979, nr 51, s. 447–460, podobnie jak artykuł Freda C. Adamsa i Gregory'ego Laughlina, *A dying universe: The longterm fate and evolution of astrophysical objects*, „Reviews of Modern Physics" 1997, nr 69, s. 337–372, który rozwija temat, w tym przedstawia nowe wyniki dotyczące dynamiki planetarnej, gwiezdnej i galaktycznej, omówione również przez Adamsa i Laughlina w doskonałej książce na poziomie ogólnym: *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity*, Free Press, Nowy Jork 1999. Współczesne zainteresowanie zagadnieniem datuje się od dwóch publikacji: M.J. Rees, *The collapse of the universe: An eschatological study*, „Observatory" 1969, nr 89, s. 193–198; Jamal N. Islam, *Possible Ultimate Fate of the Universe*, „Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society" 1977, nr 18, s. 3–8.

270 I.-J. Sackmann, A.I. Boothroyd, K.E. Kraemer, *Our Sun. III. Present and Future*, „Astrophysical Journal" 1993, nr 418, s. 457; Klaus-Peter Schroder, Robert C. Smith, *Distant future of the Sun and Earth revisited*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" 2008, nr 386 (1), s. 155–163.

271 Biegły czytelnik zauważy, że zakaz Pauliego odegrał już pewną rolę w ewolucji Słońca. Przed zapoczątkowaniem syntezy helu w rdzeniu Słońca gęstość byłaby wystarczająco duża, aby ciśnienie zdegenerowanych elektronów wynikające z zakazu stało się istotne. W istocie przyczyną „spektakularnej, ale chwilowej erupcji", o której wspomniałem jako o charakterystycznym zdarzeniu zaznaczającym przejście do syntezy helu, są szczególne właściwości gazu zdegenerowanych elektronów znajdujących się w rdzeniu (gaz nie rozpręża się i nie ochładza pod wpływem ciepła wytwarzanego na początku syntezy helu, co prowadzi do reakcji jądrowej na wielką skalę, nieróżniącej się zbytnio od bomby helowej).

272 Alan Lindsay Mackay, *The Harvest of a Quiet Eye: A Selection of Scientific Quotations*, Institute of Physics, Bristol 1977, s. 117.

273 Po raz pierwszy zasadniczą rolę zakazu Pauliego w strukturze białych karłów ukazał R.H. Fowler, *On Dense Matter*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" 1926, nr 87 (2), s. 114–122. Ważną rolę efektów relatywistycznych zauważył Subrahmanyan Chandrasekhar, *The Maximum Mass of Ideal White Dwarfs*, „Astrophysical Journal" 1931, nr 74, s. 81–82. Z jego obliczeń wynika, że opór spowodowany zakazem Pauliego zatrzyma kurczenie się każdej gwiazdy o masie mniejszej niż około 1,4 masy Słońca (masa ta wyznacza tzw. granicę Chandrasekhara). Kolejne badania dowiodły, że w przypadku masywniejszych gwiazd siła kontrakcji gwiezdnej może spowodować, iż elektrony stopią się z protonami, tworząc neutrony. Proces ten pozwala gwiazdom dalej się kurczyć, ale w pewnym momencie neutrony będą tak ciasno upakowane, że zakaz Pauliego znowu dojdzie do głosu i zatrzyma dalszą kontrakcję. W rezultacie powstaje gwiazda neutronowa.

274 Podczas gdy przeciętnie odległości galaktyczne rosną, istnieją galaktyki na tyle bliskie, że ich wzajemne przyciąganie grawitacyjne zmusza je do zbliżenia się do siebie, dotyczy to np. Drogi Mlecznej i Andromedy.

275 S. Perlmutter i in., *Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae*, „Astrophysical Journal" 1999, nr 517 (2), s. 565; B.P. Schmidt i in., *The High-Z Supernova Search: Measuring Cosmic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type IA Supernovae*, „Astrophysical Journal" 1998, nr 507, s. 46.

276 Aby opis był pełny, należy zauważyć, że rozważane przez naukowców wszystkie poważne wyjaśnienia dotyczące przyspieszonej ekspansji przestrzennej

wskazują na grawitację. Zasadniczo robią to na dwa różne sposoby: albo zachowanie siły grawitacji na odległościach kosmologicznych różni się od oczekiwanego w świetle teorii Einsteina i Newtona, albo źródła grawitacji różnią się od oczekiwanych w ramach konwencjonalnego rozumienia materii i energii. Podczas gdy oba podejścia są realne, to drugie jest szerzej rozwinięte i stosowane (aby wyjaśnić nie tylko przyspieszoną ekspansję przestrzeni, lecz także szczegółowe obserwacje kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła), tak samo jak podejście, które tu stosujemy.

277 Gęstość ciemnej energii wynosi około 5×10^{-10} dżula na metr sześcienny lub 5×10^{-10} W × s na metr sześcienny. Aby stuwatowa żarówka świeciła przez jedną sekundę, potrzeba 2×10^{11} razy więcej ciemnej energii, niż znajduje się jej w centymetrze sześciennym. Taka energia zasiliłaby żarówkę tylko przez 5×10^{-12} sekundy (pięć bilionowych sekundy).

278 Jeśli wartość ciemnej energii nie zmienia się w czasie, to jest ona identyczna z kosmologiczną stałą Einsteina – którą uczony na chybił trafił wrzucił do swoich obliczeń w 1917 roku, kiedy zdał sobie sprawę, że równania ogólnej teorii względności nie są w stanie uwzględnić powszechnego wówczas poglądu, iż w dużych skalach Wszechświat jest statyczny. Wyzwanie, na jakie natknął się Einstein, polega na tym, że statyka wymaga równowagi, a grawitacja pozornie „ciągnie" tylko w jednym kierunku. Bez siły przeciwwagi statyczny Wszechświat wydawał się niemożliwy. Na szczęście Einstein uświadomił sobie wówczas, że na skutek wprowadzenia do równań jednego nowego członu – stałej kosmologicznej – zgodnie z ogólną teorią względności powstawałaby grawitacja odpychająca, która może się przeciwstawić zwykłej przyciągającej grawitacji, i model wszechświata statycznego stanie się możliwy. (Einstein nie zdawał sobie sprawy, że równowaga jest niestabilna – niewielka zmiana wielkości statycznego Wszechświata zakłóciłaby równowagę, prowadząc do ekspansji lub kurczenia się). Tymczasem nie upłynęło dziesięć lat, gdy odkryto, że Wszechświat się rozszerza, i Einstein świadomie wymazał stałą kosmologiczną ze swoich równań. Jednak w ten sposób wypuścił grawitację odpychającą niczym dżina z butelki ogólnej teorii względności. Z czasem grawitacja odpychająca w wielkim stopniu przysłuży się kosmologii, nadając zewnętrzny impuls Wielkiemu Wybuchowi, a następnie wyjaśniając przyspieszone rozszerzanie się przestrzeni. Jak się więc okazuje, nawet złe pomysły Einsteina są dobre.

279 Robert R. Caldwell, Marc Kamionkowski, Nevin N. Weinberg, *Phantom Energy and Cosmic Doomsday*, „Physical Review Letters" 2003, nr 91, s. 071301.

280 Abraham Loeb, *Cosmology with hypervelocity stars*, „Journal of Cosmology and Astroparticle Physics" 2011, nr 04, s. 023.

281 Energia wewnątrz Ziemi jest również pozostałością ciepła wytwarzanego, gdy przyciąganie grawitacji ścisnęło chmurę pyłu i gazu, tworząc planetę. Dodatkowo ciepło jest również wytwarzane podczas wirowania Ziemi, ponieważ ruch naprężа warstwy głębokich skał, na które działa stała siła, umożliwiająca im nadążanie za obrotem planety.

282 Fred C. Adams, Gregory Laughlin, *A dying universe*…, s. 337–72; tychże, *The Five Ages of the Universe*…, s. 50–52. Podobne rozważania dotyczą planet lub księżyców, które zawsze znajdowały się zbyt daleko od swojej macierzystej gwiazdy, by warunki na powierzchni stały się sprzyjające życiu. Wewnętrzne procesy zachodzące w takich ciałach, ich astrogeologia, mogą dawać energię zdolną do podtrzymania życia znacznie poniżej ich powierzchni. Enceladus, jeden z księżyców Saturna, jest głównym kandydatem. W tak wielkiej odległości od Słońca jego lodowata powierzchnia jest nieprzyjemnym środowiskiem dla życia, ale zmienna siła grawitacyjna wywierana przez Saturn i inne księżyce tworzy naprężenia, które ogrzewają jego wnętrze, topią lód i teoretycznie mogą utrzymywać zbiorniki płynnej wody. Nie jest do końca przesadą wyobrażenie sobie, że pewnego dnia wywiercimy mały otwór w zamarzniętej skorupie Enceladusa, opuścimy sondę i spojrzymy w oczy Enceladanom zamieszkującym ocean.

283 Aby zobaczyć to doświadczenie, obejrzyjcie odcinek *The Late Show with Stephen Colbert* z moim udziałem; podczas eksperymentu wyrzucono w powietrze pięć kulek, najlżejsza pokonała prawie dziesięć metrów (to z pewnością mój jedyny rekord świata do księgi Guinnessa), https://www.youtube.com/watch?v=uRijc-AN-F0.

284 R.A. Hulse, J.H. Taylor, *Discovery of a pulsar in a binary system*, „Astrophysical Journal” 1975, nr 195, s. L51.

285 Koncepcję, zgodnie z którą powoli rozpadająca się orbita może wskazywać na utratę energii przez promieniowanie grawitacyjne, przedstawia R.V. Wagoner, *Test for the existence of gravitational radiation*, „Astrophysical Journal” 1975, nr 196, s. L63.

286 J. H. Taylor, L.A. Fowler, P.M. McCulloch, *Measurements of general relativistic effects in the binary pulsar PSR 1913+16*, „Nature” 1979, nr 277, s. 437.

287 Freeman Dyson, *Time without end*…, s. 451; Fred C. Adams, Gregory Laughlin, *A dying universe*…, s. 344–347.

288 Fred C. Adams, Gregory Laughlin, *A dying universe*…, s. 347–349.

289 Neutrony, gdy są odizolowane, mają krótki czas życia, około piętnastu minut. Ponieważ jednak są cięższe od protonów, ich proces rozpadu polega na wytworzeniu protonu (oraz elektronu i antyneutrina). Aby neutron mógł się

rozpadać w atomie, jądro musiałoby pomieścić produkowany proton, ale często wymóg ten nie może być spełniony. Protony już w jądrze wypełniają dostępne poziomy kwantowe, które zgodnie z zakazem Pauliego nie mogą być współdzielone, co podważa stabilność neutronu w tym kontekście. Gdyby lżejsze od neutronów protony się rozpadały, nie produkowałyby neutronów, a podobny proces stabilizacyjny nie mógłby zachodzić.

290 Howard Georgi, Sheldon Glashow, *Unity of All Elementary Particle Forces*, „Physical Review Letters" 1974, nr 32 (8), s. 438.

291 50-procentowy wskaźnik rozpadu w ciągu 10^{30} lat oznacza, że w próbie 10^{30} protonów istnieje 50-procentowa szansa, iż w ciągu jednego roku jeden z nich się rozpadnie.

292 Howard Georgi, informacja przekazana osobiście, Uniwersytet Harvarda, 28 grudnia 1997 r.

293 Jeśli protony nie rozpadną się w sposób przewidziany przez takie teorie jak wielka unifikacja lub teoria strun, które wykraczają poza ustalone prawa fizyki cząstek – Model Standardowy fizyki cząstek – to rozwój w kierunku przyszłości, który opisałem, będzie wymagał różnych modyfikacji. Na przykład zazwyczaj myślimy o ciałach stałych, takich jak żelazo, jako o obiektach, które utrzymują swój kształt, w przeciwieństwie do cieczy, których kształt jest płynny. Jednak po upływie wystarczająco długiego czasu nawet żelazo zachowywałoby się jak płyn, a jego atomy tunelowałyby przez wszystkie bariery stworzone przez procesy fizyczne i chemiczne. W ciągu około 10^{65} lat unosząca się w przestrzeni bryła żelaza przekształciłaby swoje atomy, „topiąc się" w kulistą kroplę – tak jak cała materia, która nadal by istniała. Poza rekonfiguracją kształtu przez dłuższy czas zmieniałaby się tożsamość materii: atomy lżejsze od żelaza stopniowo stapiałyby się ze sobą, podczas gdy te cięższe by się rozszczepiały. Żelazo jest najbardziej stabilną ze wszystkich konfiguracji atomowych, a zatem byłoby produktem końcowym wszystkich takich procesów jądrowych. Skala czasowa zakończenia tych zjawisk wynosi około 10^{1500} lat. W jeszcze dłuższych okresach materia stworzyłaby kwantowe tunele do czarnych dziur, które w tej skali czasowej natychmiast wyparowałyby na skutek promieniowania Hawkinga. Zauważmy jednak, że nawet w Modelu Standardowym fizyki cząstek elementarnych – bez tych egzotycznych czy hipotetycznych – uważa się, iż protony będą się rozpadać, tylko w znacznie dłuższej skali czasowej niż 10^{38} lat, które założyliśmy w tym rozdziale. Na przykład istnieje egzotyczny proces kwantowy w pełni zgodny z Modelem Standardowym, który fizycy badali teoretycznie (znany jako instanton, wykorzystujący tzw. rozwiązanie sfaleronowe równań pola elektrosłabego), a który doprowadziłby do rozpadu protonów. Proces ten opiera się na zjawisku tunelowania kwantowego, a więc skala czasowa jego wystąpienia jest długa, przy czym szacuje się, że wyniesie ona około 10^{150} lat, ale znacznie mniej niż podana wyżej wartość 10^{1500}

lat. Fizycy badali inne egzotyczne procesy, które również spowodowałyby rozpad protonu w różnych skalach czasowych; w większości przypadków trwają one około 10^{200} lat. Do owego czasu więc jakakolwiek pozostała materia złożona prawdopodobnie się rozpadnie. Zob. Freeman Dyson, *Time without end…*, s. 451–452 (na temat oszacowania czasu przejścia materii stałej w płynną i przemiany w żelazo). Na temat tunelowania kwantowego prowadzącego do rozpadu protonu zob.: G. 't Hooft, *Computation of the quantum effects due to a four-dimensional pseudoparticle*, „Physical Review D" 1976, nr 14, s. 3432; F.R. Klinkhamer i N.S. Manton, *A saddle-point solution in the Weinberg-Salam theory*, „Physical Review D" 1984, nr 30, s. 2212.

294 Galon to ok. 3,78 litra (przyp. red.).

295 Freeman Dyson, *Time without end…*, s. 447–460.

296 Dyson oblicza niezbędne tempo rozpraszania energii D dla Myśliciela, którego „złożoność" to Q (jest to tempo produkcji entropii na jednostkę subiektywnego czasu Myśliciela, w przybliżeniu produkcja entropii na jedną myśl Myśliciela), pracującego w temperaturze T, i podaje wzór: $D_{\propto} QT^2$.

297 W języku, którego używam, precyzyjnie ujmę to tak: Dyson zakłada, że jeśli mamy zespół Myślicieli i wszyscy są przystosowani do działania w różnych temperaturach, to tempo procesów metabolicznych każdego Myśliciela, niezależnie od tego, czym oni są, jest proporcjonalne do temperatury. W żargonie naukowym: Dyson stawia coś, co nazywa biologiczną hipotezą skalowania, która mówi, że jeśli masz replikę danego środowiska, kwantowomechanicznie identyczną z oryginalną, z wyjątkiem temperatury nowego środowiska T_{nowa}, podczas gdy w pierwotnym środowisku wynosiła ona $T_{pierwotna}$, i jeśli zbudujesz replikę żywego układu taką, że jego kwantowomechaniczny hamiltonian, z dokładnością do transformacji unitarnej, będzie podany wzorem: $H_{nowa} = (T_{nowa}/T_{pierwotna})\, H_{pierwotna}$, to kopia jest w rzeczywistości żywa i ma subiektywne doświadczenia identyczne z oryginałem, poza tym, że wszystkie jej wewnętrzne funkcje są redukowane zgodnie ze stosunkiem $T_{nowa}/T_{pierwotna}$.

298 Czytelnik mający wykształcenie matematyczne powinien pamiętać, że jeśli temperatura T jest funkcją czasu t zgodnie ze wzorem $T(t) \sim t^{-p}$, to całka wyrażenia w przypisie 294, QT^2, będzie zbieżna dla $p > ½$, podczas gdy całkowita liczba myśli – całka $T(t)$ – będzie rozbieżna dla $p < 1$. Zatem dla $½ < p < 1$ Myśliciel może przeprowadzić nieskończoną liczbę myśli mimo skończonego dopływu energii.

299 Dla czytelnika mającego wykształcenie matematyczne kluczowym zagadnieniem jest tutaj fakt, że maksymalne tempo usuwania odpadów

(zakładamy, że Myśliciel pozbywa się ich za pośrednictwem promieniowania dipolowego elektronów) jest proporcjonalne do T^3, podczas gdy rozpraszana energia jest proporcjonalna do T^2. Oznacza to, że istnieje dolna wartość graniczna T pozwalająca uniknąć gromadzenia się ciepła odpadowego szybciej, niż można je usunąć.

300 Informatycy odpowiedzialni za te ważne wyniki to między innymi Charles Bennett, Edward Fredkin, Rolf Landauer i Tommaso Toffoli. Zob. Charles H. Bennett i Rolf Landauer, *The Fundamental Physical Limits of Computation*, „Scientific American" 1985, nr 253 (1), s. 48–56.

301 Dokładniej mówiąc, praktycznie niemożliwe jest cofnięcie obliczeń. Ponieważ sam akt wymazania jest procesem fizycznym, w zasadzie moglibyśmy je cofnąć w tym samym procesie, którego użylibyśmy w przypadku rozbitego szkła: odwróceniu ruchu każdej cząstki. Jest to praktycznie niemożliwe.

302 Wielu autorów rozważało wpływ stałej kosmologicznej na przyszłość życia i umysłu. Na długo przed odkryciem obserwacyjnym ciemnej energii John Barrow i Frank Tipler analizowali fizykę obliczeń we wszechświecie ze stałą kosmologiczną i uznali, że przetwarzanie informacji z konieczności zbliża się do końca, kończąc życie i umysł (John D. Barrow i Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, Oksford 1988, s. 668–669). Lawrence Krauss i Glenn Starkman powrócili do analizy Dysona we wszechświecie ze stałą kosmologiczną i doszli do podobnego wniosku (Lawrence M. Krauss i Glenn D. Starkman, *Life, the Universe, and Nothing: Life and Death in an Ever-Expanding Universe*, „Astrophysical Journal" 2000, nr 531, s. 22–30). Odwołując się do ogólnych zasad, Krauss i Starkman wskazali również, że dyskretna natura stanów dla skończonego systemu kwantowego byłaby podobnie nieprzepuszczalna dla nieskończonej myśli w każdej rozszerzającej się czasoprzestrzeni, nawet w warunkach braku stałej kosmologicznej. Barrow i Hervik z kolei twierdzą, że dzięki wykorzystaniu gradientów temperatury generowanych przez fale grawitacyjne przetwarzanie informacji może w rzeczywistości trwać w nieskończoność we wszechświecie, który nie ma stałej kosmologicznej (John D. Barrow i Sigbjørn Hervik, *Indefinite information processing in ever-expanding universes*, „Physics Letters B" 2003, nr 566 [1–2], s. 1–7). Freese i Kinney doszli do podobnego wniosku, argumentując, że w czasoprzestrzeni, której wielkość horyzontu zwiększa się w czasie (w przeciwieństwie do wszechświata ze stałą kosmologiczną, w którym wielkość horyzontu jest stała), przestrzeń fazowa nieustannie nabiera nowych trybów (których długość fali spada poniżej wielkości rosnącego horyzontu). Zapewniają one systemowi ciągły dopływ nowych stopni swobody, które mogą transportować odpady do środowiska, umożliwiając tym samym prowadzenie obliczeń nieskończenie długo (K. Freese, W. Kinney, *The*

ultimate fate of life in an accelerating universe, „Physics Letters B” 2003, nr 558 [1–2], s. 1–8).

303 K. Freese, W. Kinney, *The ultimate fate*…, s. 1–8.

304 Przeł. Antoni Libera (przyp. red.).

Rozdział 10
Zmierzch czasu

Kwanty, prawdopodobieństwo i wieczność

Długo po tym, gdy myślenie się zakończy i nie pozostaną żadne istoty, które mogłyby się o tym przekonać, prawa fizyki będą nadal robić to, co zawsze robiły – wytyczać kierunek rozwoju rzeczywistości. Tak jak do tej pory, prawa te ujawnią zasadniczą prawdę: mechanika kwantowa i wieczność tworzą potężny związek. Mechanika kwantowa jest szczególnym przykładem marzycielskiej idei, uwzględniającym ogromny zbiór możliwych przyszłości, przy jednoczesnym sprowadzaniu na ziemię swej szalonej wizji za pomocą określania prawdopodobieństwa spełnienia się każdego z tych scenariuszy. W znanych nam skalach czasu możemy bezpiecznie ignorować te wyniki, których prawdopodobieństwo kwantowe jest tak fantastycznie małe, że musielibyśmy czekać na ich spełnienie znacznie dłużej, niż wynosi obecny wiek Wszechświata. Natomiast w tak ogromnych skalach czasu, w których obecny wiek Wszechświata jest mgnieniem oka, wiele możliwości, które wcześniej odkładaliśmy na bok, wymaga teraz należytego rozważenia. I jeśli naprawdę nie ma ustalonej daty końca czasu, to wszelkie wersje rozwoju sytuacji, które nie są ściśle zakazane przez prawa kwantowe – od znanych do dziwacznych, prawdopodobnych do mało prawdopodobnych – prędzej czy później będą miały swój moment chwały[305].

W tym rozdziale przeanalizujemy kilka takich rzadkich procesów kosmologicznych, oczekujących nadejścia swego czasu, tego momentu, gdy zostaną poklepane po ramieniu i wezwane do spełnienia się w rzeczywistości.

Rozpad czarnych dziur

W połowie XX wieku fizycy cieszyli się wielkim uznaniem dzięki decydującej roli w ostatnich epizodach II wojny światowej. Dominującymi dziedzinami badań naukowych były fizyka jądrowa i fizyka cząstek elementarnych; to dzięki nim, według słów Freemana Dysona, fizycy uzyskali, jak się zdawało, boskie moce umożliwiające „uwolnienie tej energii, która zasila gwiazdy (...) do uniesienia w niebo miliona ton skał”[306]. Ogólna teoria względności była natomiast powszechnie postrzegana jako dyscyplina niszowa, która przeżyła już czasy swojej świetności. Fizyk John Wheeler zmieni to podejście. Wkład Wheelera w fizykę jądrową i kwantową był ogromny i wywierał wielki wpływ, ale on sam trwale był związany z ogólną teorią względności. Miał też niesamowity talent do inspirowania innych swoim entuzjazmem. W ciągu następnych dziesięcioleci Wheeler wyszkolił najznamienitszych fizyków, którzy razem z nim przywrócili ogólnej teorii względność status żywej dziedziny badań naukowych.

Wheelera szczególnie fascynowały czarne dziury. Zgodnie z ogólną teorią względności, gdy coś wpadnie do czarnej dziury, nie może już z niej uciec. Znika. Na stałe. Na początku lat siedemdziesiątych XX wieku, gdy rozważał dogłębnie to zagadnienie, Wheeler natknął się na zagadkę, o której wspomniał swojemu uczniowi Jacobowi Bekensteinowi. Wydawało się mianowicie, że czarne dziury stosują strategię łamania drugiej zasady termodynamiki. Gdy weźmie się gorącą filiżankę z herbatą, rozmyślał Wheeler, i wrzuci ją do pobliskiej czarnej dziury, to co stanie się z jej entropią? Wnętrze czarnej dziury jest na stałe niedostępne z zewnątrz, zatem gorąca herbata, wraz z jej entropią, powinna w niej zniknąć. Wheeler obawiał się, że wrzucenie entropii do czarnej dziury jest

niezawodnym środkiem do świadomego łamania drugiej zasady termodynamiki.

Po kilku miesiącach Bekenstein wrócił z rozwiązaniem. Entropia herbaty nie zniknęła, oświadczył. Została po prostu przeniesiona do czarnej dziury. Bekenstein sugerował, że podobnie jak złapanie gorącej patelni przenosi część entropii do ręki, tak samo to, co wpadnie do czarnej dziury, przenosi do niej swoją entropię.

To odpowiedź, która nasuwa się w sposób naturalny, i Wheelerowi też przyszła na myśl[307]. Jednak natychmiast natrafia się na problem. Entropia, jak widzieliśmy, jest związana z liczbą przestawień składników układu, po których układ „wygląda prawie tak samo". Ściślej mówiąc, entropia zlicza różne konfiguracje mikroskopowych składników układu, które nie zmieniają jego stanu makroskopowego. Jeśli herbata przenosi swoją entropię do czarnej dziury, to entropia powinna przejawić się w zwiększonej liczbie wewnętrznych konfiguracji czarnej dziury, które nie mają wpływu na jej własności makroskopowe.

Oto problem: na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych fizycy Werner Israel i Brandon Carter zastosowali równania ogólnej teorii względności, aby pokazać, że czarną dziurę w pełni mogą określić tylko trzy liczby: jej masa, moment pędu (jak szybko ona wiruje) i ładunek elektryczny[308]. Po zmierzeniu tych makroskopowych własności masz wszystkie informacje niezbędne do pełnego opisu owego obiektu. Oznacza to, że dwie czarne dziury o tych samych własnościach makroskopowych – ta sama masa, ten sam moment pędu i ten sam ładunek elektryczny – są identyczne, aż do ostatniego szczegółu. Zatem w przeciwieństwie do zbioru monet, w którym określenie, powiedzmy, 38 orłów i 62 reszek pozwala na miliardy miliardów różnych konfiguracji, a także w przeciwieństwie do zbiornika z parą, w którym określenie objętości, temperatury i ciśnienia pozwala na gargantuiczną liczbę różnych konfiguracji cząsteczek, gdy chodzi o czarną dziurę, wyznaczenie jej masy, momentu pędu i ładunku elektrycznego ściśle określa jedną i tylko jedną konfigurację. Wobec braku innych konfiguracji nie sposób policzyć tych wyglądających podobnie i wydaje się, że czarne dziury w ogóle nie mają entropii. Wrzuć filiżankę herbaty i – jak się zdaje –

jej entropia zniknie. Wydaje się, że w konfrontacji z czarnymi dziurami druga zasada termodynamiki kapituluje.

Bekenstein nie widział w tym żadnego problemu. Ogłosił, że czarne dziury mają entropię. Co więcej, gdy coś wpadnie do środka, entropia czarnej dziury zwiększa się we właściwy sposób, co potwierdza prawdziwość drugiej zasady. Aby uchwycić istotę rozumowania Bekensteina, należy najpierw zauważyć, że kiedy coś wpada do czarnej dziury, to jego masa nie zostaje stracona. Uczeni, którzy studiowali i rozumieli ogólną teorię względności, zgodzili się, że wszystko, co wpadnie do czarnej dziury, zwiększa o tyle samo jej masę. Aby zobrazować ten proces, wyobraźmy sobie *horyzont zdarzeń* czarnej dziury, sferyczną powierzchnię wyznaczającą granice tego obiektu, wyznaczającą miejsca, spoza których nie ma już powrotu. Z matematyki wynika, że promień horyzontu zdarzeń jest proporcjonalny do masy czarnej dziury: mniejsza masa pociąga za sobą mniejszy horyzont, większa – większy horyzont. Kiedy coś wrzucasz, masa czarnej dziury wzrasta, w rezultacie więc należy sobie wyobrazić, jak zwiększa się jej horyzont. Gdy czarna dziura coś zjada, jej kulista talia rośnie.

Podążając w duchu podejścia Bekensteina[309], wyobraźmy sobie teraz, że wrzucamy do środka specjalną sondę, starannie zaprojektowaną w celu zbadania, jak czarna dziura reaguje na entropię. W tym celu przygotujmy pojedynczy foton, którego fala jest tak długa – jego możliwe położenia są tak od siebie odległe – że gdy napotka czarną dziurę, najbardziej precyzyjny opis tego, co się stanie, będzie można wyrazić przez jedną jednostkę informacji: foton albo wpadł do czarnej dziury, albo nie. Z założenia położenie fotonu jest tak rozmyte, że jeśli zostanie schwytany przez czarną dziurę, nie możemy podać bardziej szczegółowego opisu, na przykład określić, że wleciał przez ten lub inny punkt horyzontu czarnej dziury. Taki foton przenosi pojedynczą jednostkę entropii i w ten sposób pozwala nam matematycznie zbadać, jak czarna dziura reaguje na połknięcie pojedynczego kęsa entropii.

Ponieważ foton ma energię, a także ponieważ energia i masa są dwiema stronami tej samej einsteinowskiej monety ($E = mc^2$), to jeśli czarna dziura zje foton, jej masa nieznacznie wzrośnie

i horyzont zdarzeń nieco się rozszerzy. Diabeł tkwi w szczegółach. Bekenstein zauważył istotny wzór: gdy wrzucić do czarnej dziury jednostkę entropii, to jej horyzont zdarzeń poszerzyłby się o jedną jednostkę powierzchni (tak zwaną *kwantową jednostkę powierzchni* albo *powierzchnię Plancka*, która wynosi około 10^{-70} m^2)[310] . Wrzucając dwie jednostki entropii, rozszerzymy horyzont o dwie jednostki powierzchni. I tak dalej. Wydaje się więc, że powierzchnia horyzontu zdarzeń czarnej dziury śledzi entropię, którą połknęła czarna dziura. Bekenstein podniósł ten wzorzec do rangi wniosku: *całkowitą entropię czarnej dziury wyznacza całkowita powierzchnia jej horyzontu zdarzeń* (mierzona w jednostkach Plancka). To była nowa idea, którą Bekenstein przedstawił Wheelerowi.

Bekenstein nie potrafił wyjaśnić zaskakującego związku między entropią czarnej dziury a jej powierzchnią zewnętrzną, jej horyzontem zdarzeń; związek ten jest nieoczekiwany, ponieważ entropia zwykłego przedmiotu, takiego jak filiżanka herbaty, zawarta jest w jego wnętrzu, w jego objętości. Bekenstein nie umiał też wytłumaczyć, w jaki sposób jego propozycja ma się do konwencjonalnej definicji, zgodnie z którą entropia powinna być proporcjonalna do liczby możliwych rekonfiguracji mikroskopowych składników czarnej dziury (zagadnienie, które ogólnie pozostawało w stanie uśpienia do połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku, kiedy teoria strun pozwoliła na jego dogłębne zrozumienie). Natomiast jako metoda obliczeniowa jego propozycja pozwalała w sposób ilościowy na stosowanie drugiej zasady termodynamiki. Poprawka jest natychmiastowa: przy obliczaniu całkowitej entropii trzeba uwzględniać nie tylko wkład materii i promieniowania, lecz także wkład czarnych dziur. Wrzucenie herbaty do czarnej dziury zmniejsza entropię podczas śniadania, ale jeśli obliczysz wzrost powierzchni horyzontu zdarzeń w czarnej dziurze, zdasz sobie sprawę, że spadek entropii w twoim domu jest równoważony wzrostem entropii samej czarnej dziury. Opracowując algorytm włączający czarne dziury do procesu obliczania entropii, Bekenstein wzmocnił drugą zasadę termodynamiki, pozwalając jej ponownie chodzić z głową podniesioną wysoko.

Kiedy Stephen Hawking usłyszał o propozycji Bekensteina, uznał ją za absurdalną. Wielu innych fizyków miało podobne uczucia. Czarne dziury, w pełni opisane przez zaledwie trzy liczby i składające się głównie z pustej przestrzeni (wszystko, co do nich wpadnie, jest bezustannie ściągane w kierunku centralnej osobliwości), otoczyła aura pełnej prostoty. Pogląd był taki, z grubsza ujmując, że czarne dziury nie mogą nieść nieporządku, ponieważ nie ma w nich nic, co mogłoby być nieuporządkowane. Jako największy krytyk propozycji Bekensteina Hawking rozpoczął własne obliczenia, stosując połączenie metod matematycznych ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej, które, jak przewidywał, szybko ujawnią błąd w rozumowaniu Bekensteina. Zamiast tego obliczenia doprowadziły go do wniosku tak szokującego, że długo nie mógł weń uwierzyć. Analiza Hawkinga nie tylko potwierdziła rozumowanie Bekensteina, lecz także ujawniła uzupełniające je niespodzianki: czarne dziury mają *temperaturę* i wydzielają *poświatę*. One promieniują. Czarne dziury są czarne tylko z nazwy. Mówiąc ściślej, czarne dziury są czarne tylko wtedy, gdy ignoruje się fizykę kwantową.

Oto istota rozumowania Hawkinga w skrócie.

Zgodnie z mechaniką kwantową każdy maleńki obszar przestrzeni zawsze będzie zawierał aktywność kwantową. Nawet jeśli obszar ten wydaje się pusty, pozornie nie zawiera żadnej energii, teoria kwantowa pokazuje, że w rzeczywistości jego energia szybko fluktuuje w górę i w dół, *średnio* dając tylko zero energii. Są to tego samego rodzaju fluktuacje kwantowe, które powodowały zmiany temperatury w kosmicznym mikrofalowym promieniowaniu tła, omawiane w rozdziale 3. Dzięki równaniu $E = mc^2$ takie kwantowe fluktuacje energii mogą się również pojawiać jako kwantowe fluktuacje masy – cząstki i ich antycząstki wyłaniające się z próżni. Dzieje się to teraz na twoich oczach, ale bez względu na to, jak uważnie na to patrzysz, nie zobaczysz żadnych dowodów. Powodem jest to, że mechanika kwantowa również przewiduje, iż takie pary cząstka–antycząstka szybko się odnajdują, anihilują i znikają z powrotem w próżni. Wykrywamy pośrednie sygnatury tych efemerycznych zdarzeń, ponieważ po uwzględnieniu ich w naszych obliczeniach osiągamy zachwycającą zgodność między

przewidywaniami i pomiarami, co słusznie sprawiło, że mechanika kwantowa stała się fundamentem współczesnej fizyki[311].

Hawking powrócił do tych procesów kwantowych, ale teraz wyobraził sobie, że odbywają się one tuż poza horyzontem zdarzeń czarnej dziury. Kiedy para cząstka–antycząstka wpada do tego środowiska, czasami obie te cząstki szybko ulegają anihilacji, tak jak gdziekolwiek indziej. Hawking zdał sobie jednak sprawę, że czasami nie ulegną one anihilacji. Czasami jeden ze składników takiej pary zostanie wessany do czarnej dziury. Ocalała cząstka, pozbawiona partnera, z którym ma anihilować (i któremu powierzono zadanie zachowania całkowitego pędu), odwraca się ogonem i ucieka na zewnątrz. W związku z tym, że dzieje się to wielokrotnie w każdym maleńkim obszarze przestrzeni w pobliżu sferycznego horyzontu czarnej dziury, czarna dziura będzie promieniować cząstki we wszystkich kierunkach, co jest zjawiskiem, które teraz nazywamy *promieniowaniem Hawkinga*.

Co więcej, zgodnie z obliczeniami każda taka cząstka, która wpada do czarnej dziury, ma energię *ujemną* (być może nie jest to zaskakujące, jako że cząstka partnerka uciekająca z czarnej dziury ma energię dodatnią, energia całkowita musi być bowiem zachowana). A ponieważ czarna dziura konsumuje te cząstki o ujemnej masie, to tak jakby zjadała ujemne kalorie, co powoduje, że jej masa spada, a nie rośnie. Obserwator z zewnątrz odnosi wrażenie, że czarna dziura stale się kurczy w miarę wypromieniowywania cząstek. Gdyby nie to, że źródło promieniowania jest egzotyczne – czarna dziura zanurzona w kwantowej kąpieli fluktuujących cząstek, nieodłącznie związanych z próżnią przestrzeni – proces ten wydawałby się zupełnie zwykły, jak żarzenie się kawałka węgla drzewnego promieniującego fotony[312].

Podobnie jak rozrastająca się czarna dziura, czy to po spożyciu gorącej herbatki, czy turbulentnej gwiazdy, w pełni podporządkowuje się drugiej zasadzie termodynamiki, tak też postępuje kurcząca się czarna dziura. Zmniejszanie powierzchni horyzontu zdarzeń kurczącej się czarnej dziury oznacza spadek jej entropii, ale promieniowanie emitowane przez czarną dziurę na zewnątrz i rozprzestrzeniające się

w coraz większy obszar przestrzeni przenosi do środowiska więcej niż kompensujący pakiet entropii. Choreografia jest znajoma: czarne dziury, promieniując, tańczą entropię w dwóch etapach.

Wynik Hawkinga sprawił, że wszystko to uzyskało matematyczną precyzję. Wśród innych odkryć wyprowadził on dokładny wzór na temperaturę promieniującej czarnej dziury. Jakościowe wyjaśnienie jego wyniku podam w następnej części (a dla zainteresowanych matematyką wzór jest zamieszczony w przypisach końcowych[313]), ale cechą najbardziej dla nas istotną jest to, że temperatura czarnej dziury jest *odwrotnie* proporcjonalna do jej masy. Podobnie jak dojrzałe dogi niemieckie są duże i łagodne, a szczenięta shih tzu małe i kipią energią, duże czarne dziury są spokojne i chłodne, podczas gdy małe – szaleńcze i gorące. Niektóre liczby, dzięki wzorowi Hawkinga, wyraźnie to podkreślają. Dla dużej czarnej dziury, takiej jak ta w centrum naszej Galaktyki, mająca masę cztery miliony razy większą niż masa Słońca, formuła Hawkinga ustala niesamowicie niską temperaturę setnej bilionowej części stopnia ponad absolutne zero (10^{-14} kelwina). Dla mniejszej czarnej dziury, o masie Słońca, temperatura jest wyższa, ale daleka od kojącej, to jedynie jedna dziesięciomilionowa stopnia (10^{-7} kelwina). Mała czarna dziura, o masie, powiedzmy, pomarańczy, prażyłaby temperaturą około tryliona trylionów stopni (10^{24} kelwinów).

Czarna dziura, której masa jest większa od masy Księżyca, ma temperaturę niższą niż obecnie wypełniające kosmos mikrofalowe promieniowania tła (2,7 kelwina). Liczba ta nie ma wielkiego kosmologicznego znaczenia, ale bywa przydatna w podtrzymaniu pogawędki podczas spotkania towarzyskiego. Ponieważ spontaniczny przepływ ciepła następuje od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze, ciepło będzie płynąć z chłodnego wypełnionego mikrofalami środowiska otaczającego czarną dziurę do jeszcze chłodniejszej czarnej dziury. Chociaż czarna dziura emituje promieniowanie Hawkinga, w sumie pochłania więcej energii, niż uwalnia, powoli zwiększając swoją masę. Jako że nawet najmniejsze czarne dziury dotychczas odkryte podczas obserwacji astronomicznych są znacznie masywniejsze niż Księżyc, oznacza to, że wszystkie one są w trakcie nabierania wagi. Jednak w miarę

rozszerzania się Wszechświata mikrofalowe promieniowanie tła będzie nadal zmniejszać swoje natężenie, a jego temperatura będzie nadal spadać. W dalekiej przyszłości, kiedy temperatura tła spadnie poniżej temperatury konkretnej czarnej dziury, energetyczna huśtawka zacznie się obracać, czarna dziura będzie emitować więcej, niż pobiera, i w rezultacie musi się kurczyć.

W końcu czarne dziury też zmarnieją.

Istnieje wiele zagadnień dotyczących czarnych dziur, które stanowią front współczesnych badań, a jedno z nich, mające dużą wagę dla naszej dyskusji, dotyczy ostatnich chwil istnienia czarnej dziury. W miarę jak czarna dziura promieniuje, zmniejsza się jej masa, a co za tym idzie – wzrasta jej temperatura. Co się dzieje, gdy czarna dziura prawie znika, gdy jej masa zbliża się do zera, a temperatura rośnie w nieskończoność? Czy ona wybucha? Czy wygasa? Czy może wydarzy się coś jeszcze? Nie wiemy. Mimo to ilościowa analiza promieniowania Hawkinga pozwoliła fizykowi Donowi Page'owi określić tempo, w jakim dana czarna dziura się kurczy, a więc wyznaczyć czas jej życia[314]. Biorąc pod uwagę masę Słońca jako reprezentatywną dla tych czarnych dziur, które tworzą się z umierających gwiazd, wynik Page'a pokazuje, że gdzieś około 68. piętra Empire State Building, czyli 10^{68} lat po Wielkim Wybuchu, takie czarne dziury wypromieniują całą swą energię i znikną.

Rozpad ekstremalnych czarnych dziur

Wierzono, że czarne dziury zamieszkujące centrum większości – jeśli nie wszystkich – galaktyk mają gargantuiczne masy. Wraz z postępem badań astronomicznych każda rekordzistka traciła swój laur na rzecz następnej, a masy mistrzyń zmierzały ku 100 miliardom mas Słońca. Czarna dziura o tej masie ma horyzont zdarzeń tak duży, że rozciągałby się od Słońca dobry kawał drogi poza orbitę Neptuna w kierunku obłoku Oorta. Nawet jeśli nic nie wiesz o Oorcie i jego odległym obłoku, po prostu wiedz, że promień słoneczny potrzebuje więcej niż 100 godzin, aby doń dotrzeć, mówimy więc o czarnej dziurze cechującej się potwornymi rozmiarami. Jak jednak

zaraz wyjaśnię, ogromne rozmiary tych czarnych dziur raczej nie idą w parze z ich łagodnym postępowaniem.

Zgodnie z ogólną teorią względności przepis na zbudowanie czarnej dziury jest całkiem prosty: zbierz jakąkolwiek ilość masy i uformuj ją w kulę o wystarczająco małym promieniu[315]. Oczywiście, nawet pobieżnie znając temat czarnych dziur, musisz dojść do wniosku, że „wystarczająco mały promień" oznacza *naprawdę* bardzo mały, *spektakularnie* mały, *absurdalnie* mały promień. I w niektórych przypadkach twoje oczekiwanie jest poprawne. Aby zamienić grejpfrut w czarną dziurę, trzeba by go ściskać do średnicy około 10^{-25} centymetra; aby zamienić Ziemię w czarną dziurę, trzeba by ją zredukować do około dwóch centymetrów średnicy; a Słońce – do około sześciu kilometrów średnicy. Każdy taki przykład wymaga fantastycznego zmiażdżenia materii, co odpowiada powszechnej wiedzy, że do stworzenia czarnej dziury potrzeba ogromnych gęstości materii. Gdyby mimo to kontynuować katalogowanie przykładów znacznie wykraczających poza masę Słońca, skupiając się na tworzeniu coraz większych czarnych dziur, można by natrafić na wzór, który wygląda zaskakująco.

Wraz ze wzrostem ilości materii używanej do tworzenia czarnej dziury *zmniejsza się* wymagana gęstość, do której ta materia musi zostać zmiażdżona. Jeśli pozwolisz sobie na jedno, no może dwa przekształcenia matematyczne, przyczyna staje się od razu oczywista: ponieważ promień horyzontu zdarzeń czarnej dziury jest proporcjonalny do jej masy, jej objętość jest proporcjonalna do masy w trzeciej potędze, a więc średnia gęstość – masa podzielona przez objętość – jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu masy. Jeśli masa zwiększy się dwa razy, to gęstość *zmniejszy się* czterokrotnie; jeśli masa zwiększy się tysiąckrotnie, to gęstość zmniejszy się milion razy. Matematyka na bok, jakościowy wniosek jest taki, że im większą masę damy czarnej dziurze podczas jej tworzenia, tym mniej trzeba tę masę miażdżyć. Aby zbudować czarną dziurę taką jak ta w centrum Drogi Mlecznej, której masa jest około czterech milionów razy większa od masy Słońca, potrzebna jest materia, której gęstość jest niemal stokrotnie większa od gęstości ołowiu, a więc czeka cię jeszcze poważne miażdżenie. Aby zbudować czarną dziurę o masie

100 milionów razy większej od masy Słońca, niezbędna gęstość spada aż do takiej, jaką ma woda. A żeby zbudować taką czarną dziurę, której masa jest cztery miliardy razy większa od masy Słońca, niezbędna gęstość materii jest taka sama jak gęstość powietrza, którym teraz oddychasz. Uzbierajcie masę powietrza cztery miliardy razy większą niż masa Słońca i w odróżnieniu od grejpfruta, Ziemi czy Słońca, aby stworzyć czarną dziurę, nie trzeba by w ogóle tego powietrza ściskać. Sama grawitacja, działając na powietrze, utworzyłaby taki obiekt.

Nie zalecam zbierania worków z powietrzem w celu skonstruowania supermasywnej czarnej dziury, ale niezwykły jest fakt, że czarna dziura o masie cztery miliardy razy większej niż masa Słońca miałaby średnią gęstość taką jak powietrze; jest to także wymowna ilustracja tego, jak właściwości czarnych dziur mogą się różnić się od tego, co pozornie wiemy[316]. Gdy ocenia się je na podstawie ich masy i rozmiaru, wydają się gigantami. Natomiast gdy jako kryterium weźmiemy ich średnią gęstość, to takie czarne dziury wydają się delikatnymi olbrzymami. W tym sensie większe czarne dziury są mniej ekstremalne niż mniejsze, co daje intuicyjne wyjaśnienie odkrycia Hawkinga, że im bardziej masywna jest czarna dziura, tym niższa jest jej temperatura i tym bardziej stonowany jej blask.

Na długowieczność dużych czarnych dziur wpływają powiązane ze sobą dwa czynniki: mają one większą masę do wypromieniowania, a wobec ich niższej temperatury wypromieniowują tę masę wolniej. Włączając liczby do równań, stwierdzamy, że czarna dziura, której masa jest około 100 miliardów razy większa od masy Słońca, więdnie w tak wolnym tempie, iż dopiero gdy dotrzemy do najwyższego, 102. piętra Empire State Building, taka czarna dziura wyrzuci z siebie ostatnią falę promieniowania i w końcu naprawdę zgaśnie w czerni[317].

Koniec czasu

Patrząc na Wszechświat ze 102. piętra, nie zobaczymy nic więcej poza rozproszoną mgłą cząstek unoszących się w przestrzeni.

Czasami przyciąganie między elektronem a jego antycząstką, pozytonem, będzie coraz bardziej zbliżać je po spiralnej trajektorii, aż unicestwią się nawzajem w maleńkim błysku na moment oświetlającym nieprzeniknioną czerń. Jeśli ciemna energia zaniknie i gwałtownie zmniejszy się ekspansja przestrzeni, to możliwe, że cząstki nagromadzą się w jeszcze większych czarnych dziurach, które będą promieniować jeszcze wolniej, jeszcze bardziej wydłużając czas swego życia. Jeśli jednak ciemna energia się utrzyma, cząstki będą się coraz bardziej rozpraszać w wyniku przyspieszonej ekspansji, co sprawi, że będą się rzadko, o ile w ogóle, spotykać. Co ciekawe, warunki te są podobne do tych, które pojawiły się tuż po Wielkim Wybuchu, kiedy przestrzeń była również wypełniona pojedynczymi cząstkami. Różnica polega na tym, że we wczesnym Wszechświecie gęstość cząstek była tak duża, iż grawitacja łatwo je wciągała w struktury takie jak gwiazdy i planety, podczas gdy w późniejszym Wszechświecie cząstki będą tak bardzo rozproszone, a przyspieszone rozszerzanie się przestrzeni tak nieubłagane, że takie zbrylanie się będzie niezwykle mało prawdopodobne. Jest to kosmiczna wersja „z prochu powstałeś i w proch się obrócisz”, przy czym pierwotny pył wziął udział w dwuetapowej przemianie entropii – najpierw był zaganiany przez grawitację do uporządkowanych struktur astronomicznych, a na koniec zostanie tak rozproszony, że będzie spokojnie dryfować przez pustkę.

Fizycy czasami porównują tę przyszłą epokę do końca czasu. Nie chodzi o to, że czas się zatrzyma, ale kiedy akcja sprowadza się do tego, że wyizolowana cząstka przemieszcza się z jednego miejsca w rozległych zakątkach kosmosu do innego miejsca, można dojść do wniosku, iż Wszechświat wreszcie popadł w nicość. Mimo to nasza gotowość do rozważenia w tym rozdziale jeszcze dłuższych okresów trwania sprawia, że nabierają znaczenia procesy tak nieprawdopodobne, iż w innej sytuacji od razu by je odrzucono. Niemniej jednak, gdy pojawiają się tak rzadko w tej nicości, mogą prowadzić do daleko idących konsekwencji.

Rozpad pustki

Na konferencji prasowej, która odbyła się 4 lipca 2012 roku w CERN-ie, Europejskim Centrum Badań Jądrowych, rzecznik Joe Incandela ogłosił odkrycie długo poszukiwanej cząstki Higgsa. Oglądałem transmisję na żywo w Centrum Fizyki w Aspen, w sali wypełnionej po brzegi kolegami. Było to około drugiej w nocy. Wszyscy dziko wiwatowali. Kamera najechała na Petera Higgsa, który zdejmował okulary, aby wytrzeć oczy. Higgs zaproponował cząstkę noszącą teraz jego nazwisko prawie 50 lat wcześniej, musiał dzielnie walczyć z oporami, na które niekiedy natrafiają nieznane dotąd idee, i całe życie czekał, by się dowiedzieć, że ma rację.

Podczas długiego spaceru na obrzeżach Edynburga młody Peter Higgs rozwiązał zagadkę, która powodowała frustrację badaczy na całym świecie. Matematyka opisująca oddziaływania silne, słabe i elektromagnetyczne oraz cząstki materii, które one angażują, szybko się rozwijała. Pracując ramię w ramię, teoretycy i eksperymentatorzy tworzyli kwantowomechaniczny podręcznik opisujący działanie mikroświata. Pominięto jednak jedno zagadnienie. Równania nie mogły wyjaśnić, w jaki sposób cząstki elementarne uzyskały masę. Dlaczego gdyby ktoś popychał cząstki elementarne (takie jak elektrony czy kwarki), poczułby, że cząstki te stawiają opór jego wysiłkom? Ten opór jest konsekwencją masy, którą mają cząstki, ale wydaje się, że równania opowiadają inną historię: zgodnie z matematyką cząstki powinny być bezmasowe, a więc nie mogą stawiać żadnego oporu. Nie trzeba dodawać, że rozdźwięk między rzeczywistością a matematyką doprowadzał fizyków do szaleństwa.

Powód, dla którego teoria jakby dopuszczała istnienie tylko cząstek bezmasowych, związany jest z matematyką, ale sprowadza się do symetrii. Gdy obracasz kulę bilardową we wszystkie strony, to wygląda ona zawsze tak samo, podobnie równania opisujące cząstki elementarne wyglądają tak samo, gdy podmienisz dany człon w równaniu na inny. W każdym przypadku niewrażliwość na zmianę – obrotu kuli bilardowej i przestawienia członów w równaniach – odzwierciedla wysoki stopień ich symetrii. W przypadku kuli bilardowej symetria ta powoduje, że toczy się ona płynnie. W przypadku równań zaś symetria znacznie ułatwia analizę

matematyczną. Fizycy cząstek elementarnych zdali sobie sprawę, że bez symetrii równania byłyby niespójne, dając wyniki podobne do dzielenia jedności przez zero. Stąd zagadka: analiza ujawniła, że ta sama symetria matematyczna, która zapewnia poprawność równań, wymaga również cząstek bezmasowych (może nie jest to zaskakujące, gdyż samo zero jest liczbą wysoce symetryczną, utrzymującą swą wartość po pomnożeniu lub podzieleniu przez dowolną inną liczbę).

I tu pojawia się Higgs. Dowodził, że z natury rzeczy cząstki są bezmasowe, tak jak wymagały tego nieskazitelne równania symetryczne. Jednak gdy zostaną wrzucone do świata, uzyskają masę dzięki wpływowi środowiska. Higgs wyobrażał sobie, że przestrzeń jest wypełniona niewidzialną substancją, obecnie nazywaną *polem Higgsa*, i że przepychane przez to pole cząstki doznają siły oporu podobnej do tej, której doświadcza plastikowa kulka lecąca w powietrzu. Mimo że kulka z plastiku prawie nic nie waży, to jeśli trzymasz ją za oknem samochodu, który porusza się z coraz większą prędkością, na twoją rękę i ramię działa coraz większa siła, a kulka wydaje się coraz bardziej masywna, ponieważ pokonuje opór stawiany przez powietrze. Higgs zaproponował podobny mechanizm: kiedy pchasz cząstkę, wydaje się ona masywna, ponieważ pokonuje opór stawiany przez pole Higgsa. Im cięższa cząstka, tym bardziej przeciwstawia się pchnięciu, co według Higgsa oznacza, że pokonuje ona silniejszy opór ze strony jej pola przenikającego przestrzeń[318].

Jeżeli jeszcze nie zetknęliście się z pojęciem pola Higgsa, ale pilnie czytaliście poprzednie rozdziały, to może ono nie wydawać się wam szczególnie egzotyczne. Współczesna fizyka przyzwyczaiła nas do idei niewidzialnych substancji przenikających przestrzeń, będących ostatnimi wersjami starożytnego eteru. Od pola inflatonu, które mogło napędzać Wielki Wybuch, po ciemną energię, która może być odpowiedzialna za przyspieszoną ekspansję Wszechświata, fizycy ostatnich kilku dekad bez skrępowania twierdzą, że przestrzeń jest wypełniona czymś niewidzialnym. Jednak w latach sześćdziesiątych pomysł ten był bardzo radykalny. Higgs sugerował, że gdyby przestrzeń była naprawdę pusta w konwencjonalnym i intuicyjnym

sensie, cząstki nie miałyby żadnej masy. Doszedł więc do wniosku, że nie może być ona pusta, a szczególna substancja, którą skrywa, musi służyć w sam raz do nadawania cząstkom ich obserwowanej masy.

Pierwsza publikacja, w której Higgs przedstawił argumenty przemawiające za tą nową propozycją, została odrzucona od ręki. „Powiedziano mi, że to bzdury" – wspomniał badacz o tej reakcji[319]. Jednak ci, którzy uważnie studiowali tę ideę, zdali sobie sprawę z jej zalet, i powoli uzyskiwała ona uznanie. Ostatecznie została w pełni przyjęta. Z propozycją Higgsa zetknąłem się po raz pierwszy na studiach magisterskich w latach osiemdziesiątych i została ona przedstawiona z taką pewnością, że przez jakiś czas nie zdawałem sobie jeszcze sprawy z tego, iż nie została dotąd potwierdzona eksperymentalnie.

Strategia testowania tej teorii jest łatwa do opisania, lecz bardzo trudna w realizacji. Kiedy dwie cząstki, powiedzmy, dwa protony, uderzają w siebie z dużą prędkością, zderzenie powinno wzbudzić otaczające je pole Higgsa. Czasami teoretycznie uwolniłoby to maleńką kroplę pola, która ukazałaby się jako nowy rodzaj cząstki elementarnej – *cząstki Higgsa* – noblista Frank Wilczek nazywa ją „nieodrodnym dzieckiem próżni". Detekcja tej cząstki dostarczyłaby więc teorii dowodu koronnego, czyli celu, w którym zmierzały badania prowadzone przez ponad 30 lat przez ponad trzy tysiące naukowców z ponad 30 krajów, za pomocą najpotężniejszego na świecie akceleratora cząstek, którego cena przekracza 15 miliardów dolarów. Dowód, do którego prowadziła ta odyseja, przedstawiony na konferencji prasowej w Dniu Niepodległości, polegał na drobnym wybrzuszeniu na skądinąd gładkiej krzywej wizualizującej dane zebrane w Wielkim Zderzaczu Hadronów – to eksperymentalne potwierdzenie, że cząstka Higgsa została schwytana.

Jest to wspaniały epizod w kronikach ludzkich odkryć, pogłębiający zrozumienie właściwości cząstek i wzmacniający naszą wiarę w zdolność matematyki do ujawniania ukrytych aspektów rzeczywistości. Znaczenie pola Higgsa dla naszej kosmicznej podróży po osi czasu polega na związanej z nim, ale odrębnej okoliczności – w pewnym momencie w przyszłości wartość pola Higgsa może się

zmienić. I podobnie jak opór doznawany przez plastikową kulkę zmieniłby się, gdyby gęstość powietrza uległa zmianie, masy cząstek elementarnych też uległyby zmianie, gdyby wartość pola Higgsa uległa zmianie. W konsekwencji prawie wszystkich zmian pola Higgsa, z wyjątkiem najdrobniejszych, znana nam rzeczywistość uległaby zniszczeniu. Atomy i molekuły oraz struktury, które tworzą, zależą ściśle od właściwości ich składników. Słońce świeci dzięki fizyce i chemii wodoru i helu, które zależą od właściwości protonów, neutronów, elektronów, neutrin i fotonów. Komórki żyją i robią to, co robią, głównie ze względu na fizykę i chemię składników molekularnych, które znów zależą od właściwości cząstek elementarnych. Jeśli zmieniasz masę cząstek elementarnych, zmieniasz sposób ich zachowania, a więc zmieniasz mniej więcej wszystko.

Wiele doświadczeń laboratoryjnych i obserwacji astronomicznych wykazało, że przez większą część – jeśli nie wszystkie – ostatnich 13,8 miliarda lat masy podstawowych cząstek były stałe, a tym samym wartość pola Higgsa była stabilna. Jednak nawet jeśli istnieje tylko minimalne prawdopodobieństwo, że w przyszłości pole Higgsa będzie mogło przeskoczyć do innej wartości, to prawdopodobieństwo to wzrośnie niemal do pewności dzięki ogromnym odcinkom czasu, które obecnie rozważamy.

Fizyka istotna dla skoku Higgsa nazywana jest *kwantowym tunelowaniem*, procesem, który najłatwiej zrozumieć dzięki rozważeniu go najpierw na prostszym przykładzie. Umieśćmy małą marmurową kulkę w pustym kieliszku do szampana i jeśli nic nie będzie stać na przeszkodzie, zyskamy pewność, że kulka tam będzie stale przebywać. W końcu jest otoczona ze wszystkich stron barierkami i nie ma wystarczająco dużo energii, aby wspiąć się po szklanej ściance i wytoczyć przez szczyt. Nie ma też wystarczająco dużo energii, aby bezpośrednio przebić szkło. Podobnie jeśli umieścisz elektron w pułapce w kształcie małego kieliszka do szampana, otoczonego ze wszystkich stron barierami, możesz się spodziewać, że i on pozostanie na swoim miejscu. Rzeczywiście, przez większość czasu elektron tak robi, ale czasami tak nie jest. Czasami elektron znika z pułapki i rematerializuje się poza nią.

Taka sztuczka w stylu Houdiniego może być dla nas zaskakująca, natomiast w mechanice kwantowej jest to rzecz całkiem zwykła. Używając równania Schrödingera, możemy obliczyć prawdopodobieństwo, że elektron znajdzie się w tym lub innym miejscu, na przykład wewnątrz lub na zewnątrz kielichowatej pułapki. Matematyka pokazuje, że im większa pułapka – im wyższe i grubsze jej ścianki – tym mniejsze jest prawdopodobieństwo ucieczki elektronu. Najważniejsze zaś jest to, że aby prawdopodobieństwo było zerowe, pułapka musiałaby mieć nieskończenie szerokie ściany lub być nieskończenie wysoka, a w realnym świecie tak się po prostu nie dzieje. Natomiast niezerowe prawdopodobieństwo, jakkolwiek małe, oznacza, że gdy poczekamy wystarczająco długo, prędzej czy później elektron *przedostanie się* na drugą stronę. Obserwacje potwierdzają, że tak jest. Takie przejście przez barierę nazywamy „kwantowym tunelowaniem".

Kwantowe tunelowanie opisałem na przykładzie cząstki przenikającej przez barierę, zmieniającej swoje położenie z tego miejsca na tamto, ale może ono również dotyczyć pola przenikającego barierę potencjału, zmieniającego swoją wartość z tej na tamtą. Taki proces, w którym uczestniczy pole Higgsa, może decydować o długoterminowych losach Wszechświata.

W konwencjonalnie stosowanych przez fizyków jednostkach aktualna wartość pola Higgsa wynosi 246[320]. Dlaczego 246? Nikt nie wie. Jednak siła oporu, jaką to pole wytwarza z tą wartością (oraz sposób, w jaki oddziałuje na każdą cząstkę), skutecznie wyjaśnia masy cząstek elementarnych. A dlaczego wartość pola Higgsa jest stabilna od miliardów lat? Odpowiedź, jak sądzimy, jest taka, że wartość pola Higgsa, podobnie jak kulka w kieliszku czy elektron w pułapce, jest otoczona ze wszystkich stron ogromnymi barierami: jeśli pole Higgsa miałoby podjąć próbę migracji z 246 do większej lub mniejszej wartości, to bariera siłą wepchnęłaby je z powrotem w jego pierwotną wartość, tak samo jak kulka zostałaby wepchnięta z powrotem na dno kieliszka, gdyby ktoś chwilowo nim potrząsnął. I gdyby nie mechanika kwantowa, wartość pola Higgsa na zawsze pozostałaby na poziomie 246. Jak jednak odkrył Sidney Coleman

w połowie lat siedemdziesiątych, kwantowe tunelowanie zmienia wszystko[321].

Mechanika kwantowa zarówno pozwala elektronowi od czasu do czasu wydostać się z pułapki, jak i dopuszcza, aby wartość pola Higgsa wydostała się przez barierę. Gdyby do tego doszło, pole Higgsa nie zmieniłoby swojej wartości w całej przestrzeni jednocześnie. Natomiast w jakimś maleńkim regionie wyodrębnionym przez przypadkową naturę zdarzeń kwantowych wykonałoby swój ruch, tunelując przez barierę do innej wartości. Podobnie jak marmurowa kulka, gdy tunelując przez ściankę kieliszka spada niżej, pole Higgsa uzyskałoby niższą energię. Atrakcyjność niższej energii skłaniałaby je wtedy do przejścia w pobliskich punktach, co uruchomiłoby efekt domina, a w wyniku powstałaby stale powiększająca się sfera, w której energia pola Higgsa ulegałaby zmianie.

Wewnątrz tej sfery nowa wartość pola Higgsa spowodowałaby zmianę mas cząstek, a więc uległyby zmianie znana nam fizyka, chemia i biologia. Poza sferą, w której wartość pola Higgsa jeszcze się nie zmieniła, cząstki zachowałyby swoje zwykłe właściwości, zatem wszystko byłoby w normie. Analiza Colemana wykazała, że granica sfery, wyznaczająca przejście od starej wartości Higgsa do nowej, rozszerzałaby się na zewnątrz z prędkością bliską prędkości światła[322]. Co oznacza, że ci z nas, którzy byliby na zewnątrz, praktycznie w żaden sposób nie mogliby zobaczyć zbliżającej się ściany zagłady. W momencie, w którym byśmy ją zobaczyli, już by nas dosięgnęła. W jednej chwili byłoby to życie takie jak zwykle. W następnej przestalibyśmy żyć. Czy w tej sferze, zasiedlonej cząstkami o nieznanych nam własnościach, mogłyby powstać nowe struktury i być może nowe formy życia? Być może, ale na te pytania nie jesteśmy w stanie obecnie udzielić odpowiedzi.

Fizycy nie potrafią wskazać, kiedy pole Higgsa może dokonać takiego skoku. Skala czasowa zależy od własności cząstki i oddziaływania, które muszą zostać określone z odpowiednią precyzją. A ponadto jest to proces kwantowy i przewidywania mają charakter probabilistyczny. Aktualne dane sugerują, że pole Higgsa prawdopodobnie będzie tunelowało do innej wartości za 10^{102} do

10^{359} lat od dziś – gdzieś pomiędzy 102. a 359. piętrem (zakres wysokości, który mógłby być wyzwaniem nawet dla drapacza chmur Burdż Chalifa)[323].

Ponieważ pole Higgsa redefiniuje to, co rozumiemy przez pustkę – najbardziej pusta przestrzeń gdziekolwiek w obserwowalnym Wszechświecie zawiera pole Higgsa o wartości 246 – tunelowanie kwantowe pola Higgsa ujawnia niestabilność samej pustki. Poczekaj wystarczająco długo, a nawet pusta przestrzeń się zmieni. Podczas gdy skala czasowa takich zmian, tego rodzaju dezintegracja, daje niewiele powodów do niepokoju, zauważ, że istnieje szansa, iż tunelowanie może nastąpić dzisiaj. Albo jutro. Jest to brzemię życia w kwantowym wszechświecie, w którym przyszłe zdarzenia regulowane są prawdopodobieństwem. Tak jak możemy rozrzucić kilkaset monet i wszystkie upadną orłem do góry – co jest możliwe, ale mało prawdopodobne – tak samo możemy znajdować się tuż przed zderzeniem ze ścianą zmienionej energii pola Higgsa, ciągnącej w ślad za sobą za sobą nową odmianę pustej przestrzeni. To też możliwe i równie mało prawdopodobne.

To, że to prawdopodobieństwo jest nikłe, wydaje się rzeczą dobrą. Zmiecenie przez ścianę zagłady pędzącą z prędkością światła, choć szybkie i bezbolesne, jest czymś, czego większość z nas wolałaby uniknąć. Jednak gdy będziemy się zajmować coraz dłuższymi odcinkami czasu, napotkamy procesy kwantowe, które nie tylko są dziwne, lecz także podważają wszystko, co uważamy za prawdę o rzeczywistości. W reakcji na to niektórzy fizycy kultywują sentyment do teorii, w których Wszechświat skończy się na długo przed tym, zanim będziemy musieli stawić czoła implozji racjonalnego myślenia.

Mózgi Boltzmannowskie

W miarę przesuwania się w górę po linii czasu obserwowaliśmy drugą zasadę termodynamiki w działaniu. Od Wielkiego Wybuchu do tworzenia się gwiazd, zmierzchu życia, procesów umysłowych, redukcji galaktyk i dalej poprzez rozpad czarnych dziur entropia

nieustannie wzrastała. Ten konsekwentny wzrost może przesłonić fakt, że orzeczenia drugiej zasady termodynamiki są probabilistyczne. Entropia *może* się zmniejszać. Cząsteczki powietrza obecne w całym pomieszczeniu *mogą* wszystkie jednocześnie zbić się w kulę unoszącą się pod sufitem, pozostawiając nam walkę o oddech. Jest to po prostu tak mało prawdopodobne, a ramy czasowe, w jakich mogłoby się zdarzyć – tak ogromne, że zdając sobie sprawę z takiej możliwości, mądrzej postąpimy, jeśli będziemy kontynuować swe życie. Skoro jednak zajmujemy się teraz perspektywą długoterminową, porzućmy nasz doczesny prowincjonalizm i zastanówmy się nad kilkoma dość szokującymi możliwościami obniżania entropii.

Wyobraź sobie, że czytasz tę książkę od godziny, siedząc w swoim ulubionym fotelu, i od czasu do czasu popijasz herbatę z ulubionego kubka. Na pytanie, jak doszło do tej miłej sytuacji, odpowiesz, że kubek został kupiony w Nowym Meksyku od miejscowego garncarza, fotel – odziedziczony po babci od strony ojca i że zawsze interesowało cię to, jak działa Wszechświat, co doprowadziło do kupna tej książki. Gdyby cię zachęcano do podania dalszych szczegółów, zaczęłaby się opowieść o twoim wychowaniu, rodzeństwie, rodzicach i tak dalej. Gdyby naciskano cię jeszcze bardziej, prosząc o cofnięcie się bardziej w czasie i zdanie pełniejszej relacji, możesz ostatecznie powiedzieć o tym materiale, który jest zawarty w poprzednich rozdziałach.

Sekwencja ta opiera się na ciekawym fakcie: wszystko, co wiesz, odzwierciedlają myśli, wspomnienia i doznania, które *obecnie* znajdują się w twoim mózgu. Zakup kubka już dawno minął. To, co pozostaje, to konfiguracja cząstek w twojej głowie, która podtrzymuje pamięć. To samo dotyczy twoich wspomnień o odziedziczeniu fotela po babci, o ciekawości Wszechświata i o tym, że zainteresowały cię różne koncepcje w tej książce. Z głęboko fizykalistycznego punktu widzenia wszystko to jest teraz w twojej głowie za sprawą szczególnego układu cząsteczek, które się teraz w niej znajdują. Oznacza to, że gdyby przypadkowa mgiełka cząstek, przemykających przez pozbawioną struktury pustkę Wszechświata o dużej entropii, spontanicznie utworzyła konfigurację o niższej

entropii, która przypadkiem byłaby taka sama jak konfiguracji cząstek tworzących obecnie twój mózg, to zbiór tych cząstek miałby te same wspomnienia, myśli i odczucia co ty. Nie wiem, czy to na cześć wielkiego uczonego, czy raczej w ramach pretensji, takie hipotetyczne, swobodnie unoszące się, nieskrępowane umysły zbudowane z niezmiernie mało prawdopodobnych, ale możliwych, spontanicznie wysoce uporządkowanych konfiguracji cząstek zostały nazwane *mózgami boltzmannowskimi*[324].

Samotny w mroźnej ciemności przestrzeni boltzmannowski mózg nie miałby wielu myśli przed swoją śmiercią. Jednak spontaniczne skupisko cząstek może stworzyć także akcesoria, które przedłużą jego funkcjonowanie: osłonę głowy i ciała, zaopatrzenie w żywność i wodę, odpowiednią gwiazdę i planetę, by wymienić tylko kilka. Rzeczywiście, spontaniczne skupisko cząstek (i pól) może dać w efekcie cały dzisiejszy Wszechświat lub odtworzyć warunki, które zapoczątkowały Wielki Wybuch, pozwalając takiemu wszechświatowi jak nasz rozwinąć się na nowo[325] . Co prawda, jeśli chodzi o spontaniczne zmniejszenie się entropii, to ogromne szanse ma mały jej spadek: mniejsze skupisko cząstek tworzy struktury, które lepiej tolerują nieprecyzyjne uporządkowanie. I przez ogromne szanse rozumiem *ogromne* szanse. A ponieważ szczególnie interesuje nas odległa przyszłość myśli, samotny boltzmannowski mózg jest minimalnym, a więc najprawdopodobniej przypadkowym uporządkowaniem cząstek, które krótko mogą wytężać mózg nad tym, jak do tego doszło[326].

Nie jest to tylko wstęp do słabej powieści fantastycznonaukowej, gdy bowiem patrzymy w daleką przyszłość, warunki wydają się na tyle dojrzałe, aby te dziwacznie wyglądające procesy rzeczywiście mogły zachodzić. Istotnym czynnikiem jest przyspieszona ekspansja przestrzeni. Wcześniej zauważyliśmy, że taka ekspansja powoduje powstanie kosmologicznego horyzontu – odległej, otaczającej nas kuli wyznaczającej granicę, poza którą obiekty oddalają się od nas szybciej niż prędkość światła, odcinając nam tym samym wszelkie możliwości kontaktu i oddziaływania. Hawking wykazał, że mechanika kwantowa implikuje, iż horyzont czarnej dziury ma temperaturę i emituje promieniowanie, a potem Hawking i jego

współpracownik Gary Gibbons, stosując podobne rozumowanie, dowiedli, że horyzont kosmologiczny ma temperaturę i również emituje promieniowanie. Nasza analiza z poprzedniego rozdziału, koncentrująca się na przyszłości myśli, opierała się na właśnie tym fakcie i doprowadziła do wniosku, że bardzo mała temperatura naszego horyzontu kosmologicznego, około 10^{-30} kelwina, może być wystarczająca, aby przyszli Myśliciele, desperacko próbujący przedłużać myślenie w nieskończoność, spalili się własnymi myślami. Jak teraz zobaczymy, podobne rozważania, dotyczące znacznie dłuższej skali czasu, przewidują, że myśl w przyszłości ma możliwość osobliwego odrodzenia.

W dalekiej przyszłości promieniowanie emitowane przez horyzont kosmologiczny będzie stanowiło niewyraźne, ale spójne źródło cząstek (głównie cząstek bezmasowych, fotonów i grawitonów), które będą się przemieszczać w obszarze przestrzeni otoczonej horyzontem. Niekiedy skupiska tych cząstek będą się zderzać i dzięki zależności wyrażonej wzorem $E = mc^2$ energia ich ruchu zostanie użyta do produkcji mniejszej liczby bardziej masywnych cząstek, takich jak elektrony, kwarki, protony, neutrony i ich antycząstki. W rezultacie mniejszej liczby cząstek i mniejszego ruchu procesy te zmniejszają entropię, ale w wystarczająco długiej skali czasu takie mało prawdopodobne zjawiska mogą się wydarzać. I nie będzie to zdarzenie jednorazowe, ale proces ciągły. Jeszcze rzadziej niektóre z tak wytworzonych protonów, neutronów i elektronów, poruszając się odpowiednio, będą tworzyć ten lub inny rodzaj atomu. Ogromny zakres czasu wymagany dla tak rzadkich procesów wyjaśnia, dlaczego są one nieistotne w syntezie jąder atomowych po Wielkim Wybuchu lub wewnątrz gwiazd, ale w perspektywie nieograniczonego czasu takie procesy nabierają znaczenia. W jeszcze dłuższej perspektywie czasowej atomy połączą się losowo w szereg coraz bardziej złożonych konfiguracji, dzięki czemu co jakiś czas w drodze do wieczności te konfiguracje stworzą tę lub inną makroskopową strukturę – od figurek z ogromną głową po samochody marki Bentley. Wobec braku istot myślących wszystko to będzie się pojawiać i znikać niezauważenie, ale co jakiś czas losowo

ukształtowana makroskopowa struktura okaże się mózgiem. Od dawna wymarła myśl chwilowo powróci.

Jaka skala czasu jest wymagana dla takiego zmartwychwstania? Za pomocą przybliżonych obliczeń (które miłośnicy matematyki znajdą w przypisach końcowych[327]) możemy oszacować, że istnieje uzasadniona szansa, że boltzmannowski mózg uformuje się w ciągu $10^{10^{68}}$ lat. To bardzo dużo czasu. Podczas gdy czas trwania wyobrażany przez szczyt Empire State Building wynosi 10^{102} lat (jedynka, po której następują 102 zera, wymagająca około półtora wiersza na stronie), to aby wypisać $10^{10^{68}}$ – czyli cyfrę zawierającą jedynkę, po której następuje 10^{68} zer – nawet gdybyśmy zastąpili zerem każdy znak na każdej stronie każdej książki, która kiedykolwiek została wydrukowana, nie podalibyśmy wszystkich zer. Mimo to nie jest tak, że ktokolwiek będzie się kręcił, patrzył na zegarek i czekał na spadek entropii, który spowoduje utworzenie mózgu. Wszechświat mógłby trwać prawie całą wieczność w średnim, nieuporządkowanym stanie o wysokiej entropii i nie byłoby nikogo, kto mógłby narzekać.

To budzi ciekawe, nieco osobiste zainteresowanie. Skąd wziął się twój mózg? Pytanie brzmi głupio, lecz wykażcie odrobinę pobłażania. Odpowiadając na nie, naturalnie podążysz za swoimi wspomnieniami i wiedzą, aby wyjaśnić, że urodziłeś się ze swoim mózgiem i że twoje narodziny stanowią część ciągu zdarzeń, które poprzez twoich przodków, ewolucyjny rozwój życia, stworzenie Ziemi, Słońca i tak dalej prowadzą aż do Wielkiego Wybuchu. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że to ma sens. Większość z nas udzieliłaby takiej samej odpowiedzi. Jak jednak wyjaśniono w poprzednich rozdziałach, okres, w którym mózgi mogą formować się w opisany sposób, jest ograniczony – jest to prawdopodobnie rozpiętość między 10. a 40. piętrem Empire State Building. Okres, w którym mózgi mogą formować się w sposób boltzmannowski, jest zaś nieporównywalnie dłuższy – może równie dobrze być nieograniczony[328]. W miarę upływu czasu mózgi boltzmannowskie będą rzadko, ale niezawodnie, nadal się łączyć, a więc całkowita liczba takich powstających i znikających tworów będzie coraz większa. Przegląd takiej ogromnej

osi czasu ujawniłby zatem, że całkowita populacja boltzmannowskich mózgów znacznie przewyższa całkowitą populację mózgów tradycyjnych. To samo dotyczy nawet tych boltzmannowskich mózgów, których konfiguracje cząstek dają błędne przekonanie, że powstały one w tradycyjny biologiczny sposób. Raz jeszcze podkreślmy – nawet najbardziej rzadki proces przez dowolnie długi odcinek czasu będzie się powtarzał dowolnie wiele razy.

Jeśli teraz zadasz sobie pytanie, jak najprawdopodobniej udało ci się zgromadzić te przekonania, wspomnienia i wiedzę, które obecnie masz, to beznamiętna odpowiedź uwzględniająca tylko wielkości samej populacji jest jasna: po prostu twój mózg spontanicznie uformował się z cząstek w pustce, ze wszystkimi swoimi wspomnieniami i innymi cechami neuropsychologicznymi wynikającymi ze szczególnej konfiguracji cząstek. Opowiedziana przez ciebie historia tego, jak stałeś się człowiekiem, jest wzruszająca, ale nieprawdziwa. Twoje wspomnienia i rozmaite łańcuchy rozumowania, które doprowadziły do twojej wiedzy i przekonań, są fikcyjne. Nie masz żadnej przeszłości. Powstałeś jako bezcielesny mózg obdarzony myślami i wspomnieniami o rzeczach, które nigdy się nie wydarzyły[329].

Poza swym dziwacznym charakterem ten scenariusz zawiera druzgocący wniosek, sam powód, dla którego skupiłem się na spontanicznym kształtowaniu się mózgów, a nie na niezliczonych innych obiektach martwych, które mogą stworzyć przypadkowo skupiające się cząstki. Jeśli mózg, twój, mój czy kogokolwiek innego, nie może ufać, że jego wspomnienia i przekonania są dokładnym odzwierciedleniem zdarzeń, które faktycznie zaszły, to żaden mózg nie może ufać rzekomym pomiarom i obserwacjom oraz obliczeniom, które stanowią podstawę wiedzy naukowej[330]. Mam wspomnienia o uczeniu się ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej, mogę myśleć łańcuchami rozumowania opartymi na tych dwóch teoriach, mogę sobie przypominać dane i obserwacje, które te teorie tak dobrze wyjaśniają, i tak dalej. Jednak jeśli nie mogę ufać, że te myśli zostały odciśnięte przez rzeczywiste wydarzenia, którym je przypisuję, to nie mogę ufać, że teorie są czymś więcej niż figurami myślowymi, a więc nie mogę ufać żadnym wnioskom, które z tych

teorii wypływają. Co zaskakujące, wśród wniosków na pozór niewiarygodnych jest niewielka szansa na to, że jestem spontanicznie utworzonym mózgiem unoszącym się w próżni. Powątpiewanie co do możliwości spontanicznego tworzenia się mózgu zmusza nas w pierwszej kolejności do powątpiewania w samo rozumowanie, które doprowadziło nas do tej możliwości.

Krótko mówiąc, rzadkie spontaniczne spadki entropii, które umożliwiają prawa fizyki, mogą zachwiać naszą wiarą w same prawa i wszystko, co rzekomo pociągają one za sobą. Rozważając prawa działające przez arbitralnie długi czas, pogrążamy się w koszmarze sceptycyzmu, tracąc zaufanie do wszystkiego. Niewesołe miejsce do istnienia. Jak więc możemy odzyskać zaufanie do fundamentów racjonalnego myślenia, które ułatwiły nam energiczną wspinaczkę na Empire State Building i nie tylko? Fizycy opracowali wiele strategii.

Niektórzy doszli do wniosku, że boltzmannowskie mózgi to wiele hałasu o nic. Jasne, ten punkt widzenia potwierdza, że boltzmannowskie mózgi mogą się tworzyć. Ale spokojnie. Na pewno nie jesteś jednym z nich. Oto jak to udowodnić: spójrz na świat i uczestnicz we wszystkim, co widzisz. Jeśli jesteś boltzmannowskim mózgiem, to istnieje ogromna szansa, że za chwilę przestaniesz istnieć. Mózg, który może trwać dłużej, jest częścią większego i bardziej uporządkowanego układu wsparcia i dlatego potrzebuje rzadszych fluktuacji do większego obniżenia entropii, co sprawia, że jego powstanie jest o wiele mniej prawdopodobne. Skoro więc drugi rzut okiem na świat wydaje się podobny do pierwszego, to zwiększa się pewność, że nie jesteś boltzmannowskim mózgiem. Rzeczywiście, zgodnie z tym punktem widzenia każda następna chwila podobnego rodzaju coraz bardziej utwierdza twoją pewność.

Zauważ jednak, że argumentacja zakłada realność, w konwencjonalnym rozumieniu, każdej z chwil w takiej sekwencji. Jeśli w tej chwili wspominasz, że spoglądałeś na świat kilkanaście razy w ciągu minionej minuty, wielokrotnie się upewniając, że nie jesteś boltzmannowskim mózgiem, to wspomnienie odzwierciedla stan twojego mózgu w obecnej chwili, a to, że twój mózg właśnie się włączył, zostanie odciśnięte w tych samych wspomnieniach. Przyjmując w pełni ten scenariusz do serca, uświadamiasz sobie, że

empiryczne obserwacje wykorzystane, by twierdzić, że nie jesteś boltzmannowskim mózgiem, mogą same w sobie być częścią fikcji. Mogę wspominać wmawianie sobie „myślę, więc jestem", ale biorąc pod uwagę dowolną chwilę, powinienem raczej powiedzieć „myślę, że myślałem, więc myślę, że byłem". W istocie pamiętanie takich myśli nie zapewnia, że te myśli kiedykolwiek się zdarzyły.

Bardziej przekonujące podejście to zakwestionowanie samego podstawowego scenariusza: najważniejszym argumentem przemawiającym za boltzmannowskimi mózgami jest istnienie odległego kosmologicznego horyzontu nieustannie wypromieniowującego cząstki, surowce do budowy złożonych struktur, w tym umysłów. Na dłuższą metę, gdyby ciemna energia wypełniająca przestrzeń miała się rozproszyć, wówczas przyspieszona ekspansja zbliżyłaby się do końca i horyzont kosmologiczny by się wycofał. Bez otaczającej go odległej powierzchni promieniującej cząstki temperatura przestrzeni zbliżałaby się do zera, a wraz z nią szansa na spontaniczne tworzenie złożonych makroskopowych struktur również spadłaby do zera. Nie ma jeszcze dowodów na osłabienie (lub wzmocnienie) ciemnej energii, ale przyszłe misje obserwacyjne będą badać tę możliwość z większą precyzją. Ostrożna ocena jest taka, że jeszcze za wcześnie, by o tym rozstrzygać[331].

Jeszcze bardziej radykalne są podejścia, w których Wszechświat, a przynajmniej ten, jaki znamy, po prostu nie będzie istniał w dowolnie odległej przyszłości. Wobec braku fantastycznie długich odstępów czasu, które rozważaliśmy, prawdopodobieństwo powstania boltzmannowskich mózgów staje się tak śmiesznie małe, że możemy bezpiecznie zupełnie zignorować ten proces. Gdyby Wszechświat miał się skończyć na długo przed czasem, w którym produkcja boltzmannowskich mózgów stałaby się prawdopodobna, moglibyśmy odłożyć na bok nasz sceptycyzm i wygodnie powrócić do poprzednich rozważań o pochodzeniu i rozwoju naszych mózgów, w tym własnych wspomnień, wiedzy i przekonań[332].

Jak mogłoby dojść do tak szybkiego końca Wszechświata?

Czy koniec jest blisko?

Wcześniej rozważaliśmy możliwość, że pole Higgsa może dokonać kwantowego skoku do nowej wartości, powodując nagłą zmianę własności cząstek, co zmieniłoby wiele z podstawowych procesów fizyki, chemii i biologii. Wszechświat trwałby dalej, ale prawie na pewno bez nas. Gdyby ta dezorganizacja nastąpiła na długo przed czasem potrzebnym do powstawania boltzmannowskich mózgów – jak sugerują dane o polu Higgsa – zwykłe mózgi zdominowałyby populację, a my odsunęlibyśmy na bok sceptycyzm[333].

Jeszcze bardziej stanowcze rozwiązanie stworzyłby skok kwantowy, w którym tym razem wartość ciemnej energii nagle uległaby zmianie. Obecna przyspieszona ekspansja kosmosu jest napędzana przez dodatnią, ciemną energię przenikającą każdy obszar kosmosu. Natomiast gdy dodatnia ciemna energia wytwarza odpychającą grawitację, ujemna ciemna energia wytwarza przyciągającą grawitację. W konsekwencji zdarzenie tunelowania kwantowego, w którym ciemna energia przeskoczy do wartości ujemnej, oznaczałoby przejście od ekspansji Wszechświata na zewnątrz do jego zapadania się do wewnątrz. Taki nagły zwrot wstecz spowodowałby ściskanie materii, energii, przestrzeni i czasu do niezwykłej gęstości i temperatury, rodzaj odwrotnego Wielkiego Wybuchu, który fizycy nazywają *Wielkim Kresem*[334]. Podobna niepewność jak w odniesieniu do tego, co wydarzyło się w czasie zero – pojawienia się Wielkiego Wybuchu – dotyczy tego, co wydarzy się w końcowym momencie, w samym Wielkim Kresie. Oczywiste jest jednak, że gdyby Kres zdarzył się w znacznie krótszym czasie niż $10^{10^{68}}$ lat, osobliwe implikacje boltzmannowskich mózgów ponownie stałyby się wątpliwe.

Na koniec jeszcze jedno podejście, interesujące nie tylko ze względu na boltzmannowskie mózgi: fizyk Paul Steinhardt i jego współpracownicy Neil Turok i Anna Ijjas wyobrażają sobie taką potencjalną zapaść Wszechświata w bardziej optymistycznej postaci Wszechświata dokonującego odbicia[335]. Zgodnie z ich teorią regiony przestrzeni takie jak nasz przechodzą przez fazy ekspansji, po których następuje kontrakcja, i cykle te powtarzają się

w nieskończoność. Wielki Wybuch staje się Wielkim Odbiciem – powrotem do poprzedniego okresu kontrakcji. Sam pomysł nie jest całkowicie nowy. Wkrótce po ukończeniu przez Einsteina ogólnej teorii względności Aleksander Friedmann zaproponował cykliczną wersję kosmologii, którą następnie rozwinął Richard Tolman[336]. Celem Tolmana było w szczególności uniknięcie pytania o to, jak zaczął się Wszechświat. Jeśli cykle sięgają nieskończenie daleko w przeszłość, to nie było początku. Wszechświat zawsze istniał. Tolman twierdził jednak, że druga zasada termodynamiki udaremnia tę wizję. Ciągłe narastanie entropii od jednego cyklu do następnego oznacza, że Wszechświat, który obecnie zamieszkujemy, mógł być poprzedzony tylko skończoną liczbą cykli, co wymaga przecież początku. W swojej nowej wersji podejścia cyklicznego Steinhardt i Ijjas dowodzą, że mogą pokonać ten problem. Ustalili oni, że w każdym cyklu dany obszar przestrzeni rozciąga się znacznie bardziej, niż się kurczy, dzięki czemu zawarta w nim entropia jest dokładnie rozrzedzona. Cykl po cyklu całkowita entropia w całej przestrzeni wzrasta, zgodnie z drugą zasadą termodynamiki. Natomiast w każdym skończonym regionie, takim jak ten, który obserwujemy, narastanie entropii, które hamowało Tolmana, nie jest już problemem. Ekspansja rozrzedza całą materię i promieniowanie, podczas gdy późniejsze kurczenie się, wykorzystując siłę grawitacji, uzupełnia przestrzeń energią wysokiej jakości, aby rozpocząć cykl od nowa. Czas trwania każdego cyklu jest określony przez wartość ciemnej energii, która na podstawie dzisiejszych pomiarów wyznacza czas trwania na setki miliardów lat. Ponieważ jest to znacznie mniej niż typowy czas potrzebny do wytworzenia boltzmannowskiego mózgu, kosmologia cykliczna stanowi kolejne potencjalne rozwiązanie dla zachowania racjonalności. Podczas gdy w trakcie cyklu byłoby wystarczająco dużo czasu na produkcję mózgów w zwykły sposób, cykl trwałby za krótko na produkcję mózgów w sposób boltzmannowski. Z pewnością wszyscy moglibyśmy wówczas mieć pewność, że nasze wspomnienia zostały stworzone przez wydarzenia, które naprawdę zaszły.

Gdy patrzymy w przyszłość, cykliczne podejście sugeruje, że nasza wspinaczka na Empire State Building zostałaby skrócona i skończyła

się gdzieś w pobliżu 11. lub 12. piętra, gdy faza kontraktacji przestrzeni spowodowałaby odbicie, które zamyka nasz cykl i inicjuje następny. Linearność metafory wieżowca wymagałaby również uzupełnienia kształtem helisy (tu przychodzi na myśl Muzeum Guggenheima), z tym że każde okrążenie stanowiłoby cykl kosmologiczny. Ponadto, ponieważ cykle te mogą trwać w nieskończoność zarówno w przeszłości, jak i w przyszłości, należałoby wyobrazić sobie strukturę rozciągającą się nieskończenie daleko w obu kierunkach. Rzeczywistość, jaką znamy, byłaby częścią jednego okrążenia wokół toru kosmologicznego.

W ostatnich latach kosmologia cykliczna stała się głównym konkurentem teorii inflacji. Chociaż obie mogą wyjaśnić obserwacje kosmologiczne, w tym wszelkie istotne zmiany temperatury w mikrofalowym promieniowaniu tła, teoria inflacji nadal dominuje w badaniach kosmologicznych. Częściowo odzwierciedla to trudne zadanie zainteresowania fizyków alternatywą dla teorii, która na przestrzeni czterech dekad doprowadziła kosmologię do stanu dojrzałej i precyzyjnej nauki. To, że nasza era nazywana jest złotą erą kosmologii, można w dużej mierze przypisać teorii inflacji. Oczywiście, prawdy w nauce nie określa się sondażami ani popularnością. Jest ona poznawana za pomocą eksperymentów, obserwacji i dowodów. A teoria inflacji i teorie cykliczne dają jedno znacząco odmienne przewidywanie obserwacji, które pewnego dnia może zająć ważne miejsce w toczącym się między nimi sporze: wybuch ekspansji inflacyjnej towarzyszącej Wielkiemu Wybuchowi prawdopodobnie tak mocno zakłóciłby strukturę przestrzeni, że moglibyśmy nadal wykryć wytworzone w tym czasie fale grawitacyjne. Bardziej delikatna ekspansja modelu cyklicznego powoduje, że fale grawitacyjne są zbyt słabe, aby je zaobserwować. W niezbyt odległej przyszłości obserwacje mogą zatem przechylić szalę między tymi dwoma podejściami kosmologicznymi[337].

Wśród badaczy inflacja pozostaje najważniejszą teorią kosmologiczną, dlatego skupiliśmy się na niej we wcześniejszych rozdziałach. Mimo to bardzo ekscytujące jest wyobrażenie sobie przyszłych obserwacji pogłębiających naszą wiedzę o kosmosie i czyniących naszą erę jednym z wielu, być może nieskończenie

wielu, okresów, o których nie mamy pełnej wiedzy. Mimo że miałoby to wpływ na nasze rozważania o najwcześniejszych etapach życia Wszechświata, jak również jego rozwoju gdzieś powyżej 12. piętra, to jednak główne rozważania na temat entropii i ewolucji, które prowadziły nas przez większą część naszej podróży, pozostałyby niezmienne. Gdyby teoria cykliczności została potwierdzona, dowiedzielibyśmy się, że najbardziej wszechobecny ze wszystkich wzorców – narodziny, śmierć i odrodzenie – jest powtarzany w skalach kosmologicznych. To kuszący wzór. Już starożytni Hindusi, Egipcjanie i Babilończycy wyobrażali sobie, że zamiast początku, środka i końca Wszechświat, podobnie jak dni i pory roku, może przechodzić przez ciąg powtarzających się cykli. W niezbyt odległej przyszłości dane zebrane przez obserwatoria fal grawitacyjnych mogą ujawnić, czy sam kosmos przyjmuje ten wzór[338].

Myśl i Wieloświat

Czy podróż w głębie kosmosu z dowolną prędkością dobiegnie końca? Czy może to trwać wiecznie? A może nastąpi powrót w miejsce początku kosmicznej podróży jak w przypadku Magellana? Nikt nie wie. W teorii inflacji najintensywniej badane formuły matematyczne sugerują, że przestrzeń jest nieskończona, co częściowo wyjaśnia, dlaczego badacze najwięcej uwagi poświęcają tej możliwości. Dla odległej przyszłości myślenia niekończąca się przestrzeń daje szczególnie dziwaczną konsekwencję, podążmy więc za dominującym inflacyjnym punktem widzenia i załóżmy, że przestrzeń jest nieskończona[339].

Zdecydowana większość nieskończonej przestrzeni pozostawałaby poza naszą zdolnością obserwacji. Teleskopy widzą światło emitowane z odległego miejsca tylko wtedy, gdy jest wystarczająco dużo czasu, aby przemierzyło ono przestrzeń do nas. Wykorzystując maksymalny możliwy czas lotu – czas od Wielkiego Wybuchu, czyli 13,8 miliarda lat – możemy obliczyć, że maksymalna odległość, którą da się zobaczyć w dowolnym kierunku, wynosi około 45 miliardów lat świetlnych (można by pomyśleć, że granica ta wynosi 13,8 miliarda

lat świetlnych, ale ponieważ przestrzeń rozszerza się w czasie, gdy światło jest w ruchu, rozpiętość jest większa). Jeśli dorastaliście na planecie bardziej oddalonej od Ziemi niż ta odległość, to nie ma możliwości, żebyśmy się ze sobą komunikowali lub mieli bezpośredni wpływ na siebie. Zakładając więc, że przestrzeń jest nieskończona, możecie ją sobie wyobrazić jako mozaikę regionów o wymiarach 90 miliardów lat świetlnych, z których każdy rozwija się niezależnie od innych[340]. Fizycy lubią myśleć o każdym takim regionie jako o odrębnym, niezależnym wszechświecie, a cały zbiór takich regionów nazywają *wieloświatem*. W związku z tym nieskończony obszar przestrzenny prowadzi do powstania wieloświata zawierającego nieskończenie wiele wszechświatów.

Badający te wszechświaty fizycy Jaume Garriga i Alex Vilenkin[341] ustanowili cechę kluczową. Jeśli mielibyście obejrzeć serię filmów, które pokazywały kosmologiczny rozwój w każdym z nich, to nie wszystkie filmy by się różniły. Ponieważ każdy z regionów ma skończony rozmiar i każdy zawiera dużą, ale skończoną ilość energii, istnieje tylko skończona liczba różnych historii, które mogą być odtwarzane. Intuicyjnie można by pomyśleć inaczej. Możesz oczekiwać, że będzie nieskończenie wiele wariantów, ponieważ biorąc pod uwagę każdą historię, zawsze możesz ją zmodyfikować, popychając tę cząstkę w ten sposób, a tamtą inaczej. Jednak jeżeli twoje pchnięcia są zbyt słabe, to spadną poniżej granicy nieokreśloności kwantowej, a więc będą bez znaczenia; jeżeli zaś będą zbyt mocne, to cząstki nie pozostaną w tym regionie lub ich energie przekroczą dostępne maksimum. Ograniczone zarówno od dołu, jak i od góry, tworzą tylko skończoną liczbę wariantów, a zatem możliwa jest tylko skończona liczba różnych filmów.

Teraz, wobec nieskończenie wielu regionów i skończonej liczby filmów, po prostu nie ma wystarczająco dużo różnych filmów, aby wystarczyło dla wszystkich regionów. Mamy gwarancję, że filmy będą się powtarzać; istotnie, będą się powtarzać nieskończenie wiele razy. Mamy również gwarancję, że każdy film zostanie wykorzystany. Kwantowe fluktuacje, które powodują, że jedna historia różni się od drugiej, są przypadkowe, a więc próbkują każdą możliwą konfigurację. Nie pozostaje żadna historia. W ten sposób

nieskończony zbiór wszechświatów realizuje każdą możliwą historię, a każda taka historia jest realizowana nieskończenie wiele razy.

Wiąże się to z osobliwym wnioskiem: rzeczywistość, której ty, ja i wszyscy inni doświadczamy, dzieje się tam w innych regionach – w innych wszechświatach – w koło raz za razem. Każda zmodyfikowana rzeczywistość w sposób, który nie jest zabroniony przez prawa fizyki (nie możesz naruszyć na przykład prawa zachowania energii lub ładunku elektrycznego), jest tam również i powtarza się ciągle i ciągle. To skłania umysł do wyobrażania sobie alternatywnych rzeczywistości – Lee Harvey Oswald pudłuje, Claus von Stauffenberg odnosi sukces, James Earl Ray – nie. Wielbiciele kwantów rozpoznają podobieństwo do tak zwanej interpretacji wielu światów fizyki kwantowej, która przewiduje, że każdy możliwy wynik dozwolony przez prawa kwantowe staje się realny w jego własnym, odrębnym wszechświecie. Fizycy od ponad pół wieku debatują nad tym, czy takie podejście do mechaniki kwantowej jest matematycznie sensowne, a jeśli tak, to czy inne światy są prawdziwe, czy to tylko użyteczne fikcje matematyczne. Teoria kosmologiczna, którą teraz opowiadamy, różni się zasadniczo tym, że inne światy – inne regiony – nie są kwestią interpretacji. Jeśli przestrzeń jest nieskończona, to inne regiony *są* gdzieś tam.

Na podstawie wszystkiego, co badaliśmy w tym i w poprzednich rozdziałach, można dojść do wniosku, że tutaj, w naszym regionie, w naszym Wszechświecie, dni nasze i istot myślących bardziej ogólnie są policzone. Liczba ta może być duża, ale gdzieś wzdłuż wspinaczki w górę Empire State Building, a może poza nim, życie i umysł najprawdopodobniej osiągną swój koniec. Na tym tle Garriga i Vilenkin oferują ciekawy rodzaj optymizmu. Zauważają, że ponieważ każda historia rozgrywa się w nieskończonym zbiorze wszechświatów, niektóre z nich z pewnością będą cieszyć się rzadkimi, ale przypadkowymi spadkami entropii, które utrzymają poszczególne gwiazdy i planety w stanie nienaruszonym lub stworzą nowe środowiska zawierające źródła energii o wysokiej jakości bądź dowolne wydarzenia z szerokiego wachlarza mało prawdopodobnych, które pozwolą żyć i myśleć dłużej, niż można by się spodziewać. W istocie, jak twierdzą Garriga i Vilenkin, jeśli wybierzesz *dowolnie*

długi skończony czas trwania, to wśród nieskończonego zbioru znajdą się wszechświaty, w których mało prawdopodobne procesy, działając niezgodnie z kierunkiem wzrostu entropii, utrzymują życie przynajmniej przez ten czas. Zatem niektóre spośród nieskończoności wszechświatów będą gościć życie i umysł dowolnie długo.

Trudno powiedzieć, jak mieszkańcy takich regionów wyjaśnialiby powodzenie swojego przetrwania, nawet jeśli byliby świadomi własnego szczęścia. Być może rozumieliby fizykę tak jak my i uznaliby, że losowe fluktuacje mogą prowadzić do rzadkich i przypadkowych wyników, ale właśnie ta wiedza pokazałaby jednocześnie, że to, czego doświadczają, choć możliwe, jest nadzwyczaj mało prawdopodobne. Dzięki tej świadomości mogliby dojść do wniosku, że muszą ponownie przemyśleć, jak rozumieją swoją fizykę. Pomyślcie o tym. Chociaż probabilistyczne prawa fizyki kwantowej dopuszczają możliwość przejścia przez ścianę, gdybym powtarzał to wielokrotnie, to chcielibyśmy lepiej rozumieć fizykę kwantową. Nie dlatego, że naruszyłbym prawa kwantowe. Nie zrobiłbym tego. Po prostu dlatego, że jeśli rzekomo nieprawdopodobne zdarzenia zdarzają się, i to często, to jesteśmy skłonni szukać lepszych wyjaśnień, według których zdarzenia te nie są tak nieprawdopodobne. Oczywiście jest również możliwe, że mieszkańcy takich szczęśliwych światów nie skupialiby się na wyjaśnieniach i po prostu szli z prądem, by szczęśliwie żyć nieskończenie długo.

Ponieważ szanse na to, że zamieszkujemy w takim świecie lub że znajdujemy się wystarczająco blisko niego, by tam uciec, są niewielkie, to być może w chwili gdy ujrzymy zbliżanie się naszego końca, zbierzemy to, czego się nauczyliśmy, odkryliśmy, stworzyliśmy, i zapakujemy do kapsuły, którą uruchomimy w nadziei, że kiedyś dotrze do jednej z bardziej szczęśliwych krain. Jeśli nie mamy rodowodu, który rozciąga się do wieczności, być może uda nam się przekazać istotę naszych osiągnięć tym, którzy taki mają. Być może, jakkolwiek pośrednio, możemy zostawić ślad na wieczność. Garriga i Vilenkin, badając wersję tego scenariusza i korzystając ze spostrzeżeń filozofa Davida Deutscha, stwierdzają,

że plan jest beznadziejny. W nieskończoności wszechświatów i ogromie skali czasu losowe fluktuacje kwantowe wytworzą o wiele więcej fałszywych kapsuł, niż nasi potomkowie będą w stanie stworzyć prawdziwych, co doprowadzi do tego, że każdy wiarygodny ślad tego, kim jesteśmy i co osiągnęliśmy, zaginie w kwantowym szumie.

Życie i myśl tu, w naszym Wszechświecie, w tym, co od dawna uważaliśmy za Wszechświat, prawdopodobnie dobiegnie końca. Być może pocieszająca jest świadomość, że gdzieś na rozległym obszarze nieskończonej przestrzeni, daleko poza granicami naszej domeny, życie i myśl mogą trwać, być może w nieskończoność. Jednak nawet jeśli możemy rozmyślać o wieczności i nawet do niej sięgać, najwyraźniej nie możemy dotknąć wieczności.

305 Z faktem, że procesy cechujące się małym prawdopodobieństwem po upływie odpowiednio długiego czasu mogą stać się elementem rzeczywistości, mieliśmy do czynienia we wcześniejszych rozdziałach. W jednym z wyjaśnień tego, co mogło zapoczątkować Wielki Wybuch, zauważyłem, że kosmiczny rozwój mógł długo czekać na bardzo mało prawdopodobną konfigurację jednorodnego pola inflatonu wypełniającego mały obszar przestrzeni, który stanowiłby źródło odpychającej grawitacji i wprawił w ruch ekspansję przestrzeni. Podając inny ważny i ogólny przykład, podkreśliłem również, że druga zasada termodynamiki nie jest prawem w konwencjonalnym sensie, ale raczej tendencją statystyczną. Spadki entropii są niezwykle rzadkie, ale jeśli poczeka się wystarczająco długo, to wydarzą się nawet najbardziej mało prawdopodobne rzeczy.

306 Freeman Dyson w: Jon Else (reż.), *The Day After Trinity*, KETH, Houston 1981.

307 Osobista korespondencja z Johnem Wheelerem, Princeton University, 27 stycznia 1998 r.

308 W. Israel, *Event Horizons in Static Vacuum Space-Times*, „Physical Review" 1967, nr 164, s. 1776; tegoż, *Event Horizons in Static Electrovac Space-Times*, „Communications in Mathematical Physics" 1968, nr 8, s. 245; B. Carter, *Axisymmetric Black Hole Has Only Two Degrees of Freedom*, „Physical Review Letters" 1971, nr 26, s. 331.

309 Jacob D. Bekenstein, *Black Holes and Entropy*, „Physical Review D" 1973, nr 7, s. 2333. Piękne i przystępne matematyczne podsumowanie obliczeń Bekensteina znajduje się w: Leonard Susskind, *Bitwa o czarne dziury: moja walka*

ze Stephenem Hawkingiem o uczynienie świata przyjaznym mechanice kwantowej, przeł. U. i M. Seweryńscy, Prószyński i S-ka, Warszawa 2011.

310 Ściślej mówiąc, powierzchnia wzrasta o jedną jednostkę kwadratową, jeśli wybraną jednostką jest jedna czwarta długości Plancka.

311 Właściwości magnetyczne elektronu, bardzo wrażliwe na fluktuacje kwantowe w pustej przestrzeni, są przykładem najbardziej imponującej zgodności między obserwacjami a przewidywaniami matematycznymi. Obliczenia matematyczne to prawie heroizm. Pod koniec lat czterdziestych Richard Feynman wprowadził graficzny schemat ich przedstawiania, znany obecnie jest jako *diagramy Feynmana*. Każdy diagram oznacza wkład matematyczny, który wymaga starannej oceny, a na zakończenie obliczeń wszystkie takie diagramy muszą być zsumowane. Chcąc określić udział kwantowy we właściwościach magnetycznych elektronów (moment dipolowy elektronów), badacze musieli ocenić ponad 12 tysięcy diagramów Feynmana. Spektakularna zgodność między takimi obliczeniami a pomiarami eksperymentalnymi należy do największych triumfów fizyki kwantowej (zob. Tatsumi Aoyama, Masashi Hayakawa, Toichiro Kinoshita i Makiko Nio, *Tenth-order electron anomalous magnetic moment: Contribution of diagrams without closed lepton loops*, „Physical Review D" 2015, nr 91, s. 033006).

312 Chociaż używam węgla jako analogii, to warto zwrócić uwagę na jedną zasadniczą różnicę między promieniowaniem emitowanym przez zwyczajne spalanie a tym emitowanym przez czarną dziurę. Kiedy węgiel się żarzy, promieniowanie to emitowane jest bezpośrednio ze spalania materiału zawierającego węgiel; nosi więc ono odcisk specyficznego składu materiałowego węgla. Natomiast materiał stanowiący czarną dziurę został ściśnięty w pojedynczy obiekt – i im bardziej masywna jest czarna dziura, tym większa jest separacja osobliwości od horyzontu zdarzeń – zatem, jak się wydaje, promieniowanie emitowane z horyzontu zdarzeń nie nosi śladu składu materiałowego czarnej dziury. Ta różnica pomaga zrozumieć genezę tego, co nazywamy *paradoksem informacyjnym czarnej dziury*. Jeśli promieniowanie emitowane przez czarną dziurę jest niewrażliwe na konkretne składniki, z których ona powstała, to do czasu, gdy czarna dziura całkowicie przekształci się w promieniowanie, informacja zawarta w tych składnikach zostanie utracona. Taka utrata informacji zakłóciłaby kwantowomechaniczny rozwój Wszechświata, dlatego fizycy od dziesięcioleci starają się dowieść, że informacja nie ulega utracie. Większość fizyków zgadza się obecnie, że mamy mocne argumenty przemawiające za tym, iż informacja jest rzeczywiście zachowana, ale pewne ważne detale teorii wciąż są badane.

313 Zgodnie ze wzorem Hawkinga promieniowanie ciała doskonale czarnego emitowane przez czarną dziurę Schwarzschilda (nienaładowaną, nieobracającą się czarną dziurę) o masie M jest następujące: $T_{Hawking} = hc^3/16\pi^2 GMk_b$ (h jest stałą

Plancka, c – prędkością światła, G stałą Newtona, a k_b stałą Boltzmanna). S.W. Hawking, *Particle Creation by Black Holes*, „Communications in Mathematical Physics" 1975, nr 43, s. 199–220.

314 Don N. Page, *Particle emission rates from a black hole: Massless particles from an uncharged, nonrotating hole*, „Physical Review D" 1976, nr 13 (2), s. 198–206. Zacytowane liczby aktualizują obliczenia Page'a oparte na nowszych ocenach właściwości cząstek, zwłaszcza niezerowych mas neutrin.

315 Ściślej mówiąc, kula, której promień jest nie większy niż tzw. promień Schwarzschilda (wzór matematyczny promienia Schwarzschilda zawierający masę, M, to $R_{Schwarzschild} = 2GM/c^2$).

316 Zauważmy, że mam na myśli coś, co można by nazwać efektywną średnią gęstością czarnej dziury: jej całkowitą masę podzieloną przez całkowitą objętość zawartą w kuli o promieniu jej horyzontu zdarzeń. Pojęcie to jest intuicyjnie użyteczne, ale – jak się zorientuje ekspert – w najlepszym wypadku heurystyczne. Kiedy tworzy się czarna dziura, kierunek wzdłuż promienia w obrębie jej horyzontu zdarzeń odnosi się do czasu, a więc pojęcie wewnętrznej objętości przestrzennej czarnej dziury staje się bardziej subtelne (a w rzeczywistości przybiera odmienne znaczenie). Co więcej, masa czarnej dziury nie wypełnia jednolicie takiej objętości, zatem obliczona przez nas średnia gęstość fizycznie nie odnosi się do samej czarnej dziury. Niemniej jednak średnia gęstość czarnej dziury, tak jak ją zdefiniowaliśmy, daje intuicyjne wyobrażenie, dlaczego większe czarne dziury wykazują mniej ekstremalnych warunków zewnętrznych i emitują promieniowanie Hawkinga mimo niższej temperatury.

317 W poprzednim rozdziale zauważyliśmy, że przyspieszona ekspansja przestrzeni powoduje powstanie niewielkiej i stałej temperatury tła około 10^{-30} K. Temperatura czarnej dziury o masie większej od około 10^{23} mas Słońca byłaby w dalekiej przyszłości mniejsza od temperatury otoczenia przestrzeni, natomiast taka czarna dziura byłaby większa niż sam horyzont kosmologiczny.

318 Zgodnie z obliczeniami matematycznymi gdy fotony przechodzą przez pole Higgsa, nie doświadczają żadnego oporu ciągnięcia, co powoduje, iż sa one bezmasowe, a pole Higgsa niewidzialne.

319 Peter Higgs w: *What Is Space?* – pierwszym odcinku czteroczęściowego dokumentu *The Fabric of the Cosmos* (NOVA), opartego na książce pod tym samym tytułem. Do innych fizyków, którzy w tym samym czasie rozwinęli podobne pomysły jak Higgs, należą Robert Brout i François Englert oraz Gerald Guralnik, C. Richard Hagen i Tom Kibble. Higgs i Englert otrzymali wspólnie Nagrodę Nobla za swoją pracę.

320 Ta konkretna liczba ma mniejsze znaczenie, niż mogłoby się wydawać. Wartość 246 (a ściślej 246,22 GeV, gdzie GeV oznacza konwencjonalną jednostkę, gigaelektronowolt) zależy od konwencji matematycznych, na które na ogół powołują się fizycy. Jednak mniej standardowe konwencje dawałyby równoważną fizykę z różnymi wartościami liczbowymi.

321 Sidney Coleman, *Fate of the False Vacuum*, „Physical Review D" 1977, nr 15, s. 2929; Erratum, „Physical Review D" 1977, nr 16, s. 1248.

322 Mówiąc ściślej, kula najpierw rozprzestrzeniałaby się powoli, a następnie gwałtownie zwiększałaby swoją prędkość do prędkości światła.

323 A. Andreassen, W. Frost, M.D. Schwartz, *Scale Invariant Instantons and the Complete Lifetime of the Standard Model*, „Physical Review D" 2018, nr 97, s. 056006.

324 Możliwość, że nasz Wszechświat mógł się wyłonić z jednorodnej, wysokotemperaturowej łaźni wypełnionej zderzającymi się cząstkami w pustce, w której niezwykle rzadki i spontaniczny spadek entropii doprowadził do uporządkowanych struktur, jakie dziś obserwujemy, Ludwig Boltzmann przedstawił w dwóch artykułach (Ludwig Boltzmann, *On Certain Questions of the Theory of Gases*, „Nature" 1895, nr 51 [1322], s. 413–415; tegoż, *Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. E. Zermelo*, „Annalen der Physik" 1896, nr 57, s. 773–784). Później Arthur Eddington zauważył, że ponieważ mniej znaczące spadki entropii są bardziej prawdopodobne, to jest raczej możliwe, iż efektem takiej fluktuacji nie byłby cały Wszechświat wypełniony gwiazdami, planetami i ludźmi – radykalny spadek entropii – ale tylko istnienie „fizyków matematycznych" (obserwatorów zaangażowanych w eksperymenty myślowe, które uczony ten badał) w skądinąd zdezorganizowanym środowisku (A. Eddington, *The End of the World: From the Standpoint of Mathematical Physics*, „Nature" 1931, nr 127 [3203], s. 447–453). Znacznie później pojęcie „fizyka matematycznego" zredukowano do tworu o jeszcze mniejszej entropii, co dało początek określeniu „mózgi boltzmannowskie" (o ile mi wiadomo, po raz pierwszy terminu tego użyli A. Albrecht i L. Sorbo, *Can the Universe Afford Inflation?*, „Physical Review D" 2004, nr 70, s. 063528).

325 Z powodów podkreślonych w tym rozdziale skupię się na spontanicznym tworzeniu struktur, które mogą myśleć – mózgów boltzmannowskich – ale spontaniczne tworzenie całych nowych wszechświatów lub spontaniczne odtwarzanie warunków, które uruchamiają inflacyjną ekspansję kosmologiczną – są również godne uwagi. Aby uniknąć przeładowania rozdziału treścią, rozważam takie możliwości w przypisach.

326 Każdy zorientowany w fizyce czytelnik natychmiast się zorientuje, że pomijam tu rozmaite subtelności i kontrowersje. Nie ma powszechnej zgody co do

sposobu obliczania prawdopodobieństwa różnych spontanicznych fluktuacji kosmologicznych, o których mowa. Leonard Susskind i jego współpracownicy preferowali jedno podejście (L. Dyson, M. Kleban i L. Susskind, *Disturbing Implications of a Cosmological Constant*, „Journal of High Energy Physics" 2002, nr 0210, s. 011), oparte na wcześniejszej koncepcji Susskinda znanej jako „komplementarność horyzontu". Przypomnijmy, że ponieważ rozszerzanie się przestrzeni jest coraz szybsze, jesteśmy otoczeni odległym horyzontem kosmologicznym. Punkty położone dalej niż horyzont kosmologiczny oddalają się od nas szybciej niż światło, nie ma więc możliwości, aby oddziaływało na nas coś, co znajduje się w tej odległości lub jeszcze dalej. Susskind, biorąc pod uwagę ową izolację niektórych obiektów (i opierając się na swych wcześniejszych pracach nad czarnymi dziurami, które mają własny, odmienny horyzont zdarzeń), opowiada się za tym, by rozpatrywać tylko procesy fizyczne, które zachodzą w obrębie „naszego skrawka" – można o nim myśleć jako o obszarze przestrzeni leżącej w obrębie naszego horyzontu kosmologicznego – skutecznie odrzucając wszelką fizykę w potencjalnie nieskończonej przestrzeni, która leży poza nim. Ściślej rzecz ujmując, Susskind argumentuje, że fizyka poza „naszym skrawkiem" jest zbędna, gdy odnosimy się do fizyki wewnątrz naszego świata (podobnie jak falowy i cząsteczkowy opis mechaniki kwantowej to dwa komplementarne sposoby mówienia o tej samej fizyce, fizyka wewnątrz skrawka i na zewnątrz niego byłaby również komplementarnym sposobem mówienia o tej samej fizyce). Zgodnie z tym założeniem rzeczywistość jest uważana za skończony skrawek przestrzeni, ze stałą kosmologiczną, Λ, dającą temperaturę $T \sim \sqrt{\Lambda}$ – podobnie jak kanoniczny przypadek gorącego gazu w pudełku w elementarnej mechanice statystycznej. Obliczenie prawdopodobieństw względnych dwóch różnych makrostanów sprowadza się następnie do przyjęcia proporcji liczby mikrostanów związanych z każdym z nich. Oznacza to, że prawdopodobieństwo danej konfiguracji jest proporcjonalne (zależność eksponencjalna) do jej entropii. W podejściu ty, Susskind i współpracownicy zauważają, że skupianie się cząstek w obrębie naszego skrawka w celu utworzenia warunków niezbędnych do inflacyjnego Wielkiego Wybuchu jest niezwykle mało prawdopodobne (ponieważ taka konfiguracja ma niską entropię) w porównaniu ze skupianiem się cząstek w celu bezpośredniego utworzenia świata, jaki znamy, od gwiazd do ludzi (ponieważ taka konfiguracja ma wyższą entropię). Alternatywne podejście do obliczania prawdopodobieństwa sugerują A. Albrecht i L. Sorbo, *Can the Universe Afford Inflation?*..., s. 063528; opiera się ono na inflacji wynikającej z lokalnego kwantowego zdarzenia tunelowania. Podejście to daje radykalnie różne prawdopodobieństwa. Albrecht i Sorbo rozważają fluktuacje do niższej entropii – regionu, który następnie się rozszerza – w środowisku, które samo w sobie ma wysoką entropię; dzięki temu pełna konfiguracja nadal ma wysoką entropię, zwiększając tym samym prawdopodobieństwo. Susskind i współpracownicy rozważają entropię w obrębie samej fluktuacji, argumentując, że ponieważ ów region następnie się rozszerzy, to wszystko poza nim leży poza jego

horyzontem kosmologicznym i dlatego może być ignorowane. Niższa całkowita entropia, jaką Susskind i jego współpracownicy przypisują fluktuacjom, radykalnie zmniejsza prawdopodobieństwo ich wystąpienia.

327 W przypisie 9 do rozdziału 2 wyjaśniłem, że entropia układu jest bardziej poprawnie zdefiniowana jako logarytm naturalny liczby dostępnych stanów kwantowych. Jeżeli więc układ ma entropię S, to liczbą takich stanów jest e^S. Gdy przyjmiemy, że układ spędza prawie równy czas w którymkolwiek z mikrostanów zgodnych z jego makrostanem, to prawdopodobieństwo P fluktuacji od stanu początkowego o entropii S_1 do stanu końcowego o entropii S_2 jest podane przez stosunek liczby mikrostanów związanych z każdym z nich, stąd $P = e^{S_2}/e^{S_1} = e^{(S_2 - S_1)}$. Dla jasności napiszmy $S_2 = S_1 - D$, gdzie D oznacza „spadek" entropii od wartości początkowej S_1. Następnie $P = e^{(S_1 - D - S_1)} = e^{-D}$, gdzie widzimy spadek prawdopodobieństwa jako wykładniczą funkcję spadku entropii. Jakie jest więc prawdopodobieństwo utworzenia mózgu boltzmannowskiego? Cóż, w temperaturze T cząstki w naszej łaźni termicznej mają energie równe T (jeśli używamy jednostek, w których $k_B = 1$), a więc aby zbudować mózg o masie M, musimy „odessać" około M/T takich cząstek (jeśli używamy jednostek, w których $c = 1$). Ponieważ entropia łaźni śledzi liczbę cząstek, to spadek D jest w zasadzie równy M/T, a więc prawdopodobieństwo wynosi około $e^{-M/T}$. Dla szczególnie istotnego przypadku możemy nastawić się na bardzo odległą przyszłość i przyjąć, że T jest równe temperaturze łaźni termicznej powstającej z horyzontu kosmologicznego, około 10^{-30} K, czyli około 10^{-41} GeV (gdzie GeV, gigaelektronowolt, jest mniej więcej równy energetycznemu równoważnikowi masy protonu). Ponieważ mózg ma około 10^{27} protonów, M/T wynosi około $10^{27}/10^{-41} = 10^{68}$. Prawdopodobieństwo samoistnego utworzenia się mózgu jest więc równe $e^{-10^{68}}$. Czas niezbędny do uzyskania rozsądnego prawdopodobieństwa wystąpienia tak rzadkiego zdarzenia jest proporcjonalny do $1/(e^{-10^{68}})$, czyli $e^{10^{68}}$ – taką wartość w tym rozdziale dla ułatwienia przybliżamy jako $10^{10^{68}}$.

328 Chociaż czas może być nieograniczony, istnieje naturalna, ale skończona skala czasowa, znana jako „czas powrotu". Omawiam to w przypisie 335, tutaj więc wystarczy powiedzieć, że czas powrotu jest tak długi, iż liczba mózgów boltzmannowskich, które powstaną, zanim osiągniemy tę granicę, jest – nawet mimo niezwykle powolnego tempa ich tworzenia się – nieosiągalna.

329 Szczególnie uważny czytelnik uzna, że domyślnie powołujemy się na *zasadę racji niedostatecznej* opisaną w przypisie 40 powyżej. To znaczy, że kiedy rozważam pochodzenie mojego mózgu, przypisuję równe prawdopodobieństwo

każdemu wcieleniu, które ma taką samą konfigurację fizyczną. Ponieważ prawie wszystkie z nich powstałyby w sposób boltzmannowski, jest bardzo mało prawdopodobne, by zwykła historia stworzenia mojego mózgu, którą opowiadam powyżej, była prawdziwa. Jednak tak jak w przypisie 40 można podważyć stosowanie zasady racji niedostatecznej w sytuacjach pod żadnym względem niepodobnych do tych, w których zasada ta została empirycznie zweryfikowana (rzuty monetami, rzuty kośćmi do gry i mnóstwo rozmaitych sytuacji losowych, które napotykamy codziennie). Niemniej jednak wielu czołowych kosmologów nie jest zadowolonych z takiego podejścia, dlatego też zagadki mózgu boltzmannowskiego, które opisuję w tym rozdziale, uważają za poważny problem.

330 Zob. David Albert, *Time and Chance*, Harvard University Press, Cambridge, MA 2000, s. 116; Brian Greene, *Struktura kosmosu*…

331 Chciałbym wspomnieć o dwóch innych powiązanych ze sobą podejściach do rozwiązania problemu. Jednym z nich jest wyobrażenie sobie, że z czasem „stałe" natury dryfują w taki sposób, iż procesy fizyczne niezbędne do wytworzenia mózgów boltzmannowskich są tłumione. Zob. np. Steven Carlip, *Transient Observers and Variable Constants, or Repelling the Invasion of the Boltzmann's Brains*, „Journal of Cosmology and Astroparticle Physics" 2007, nr 06, s. 001. Innym argumentem, podnoszonym przez Seana Carrolla i współpracowników, jest teza, że fluktuacje niezbędne do formowania mózgów boltzmannowskich nie powstają w wyniku procesów mechanicznokwantowych (K.K. Boddy, S.M. Carroll i J. Pollack, *De Sitter Space Without Dynamical Quantum Fluctuations*, „Fundations of Physics" 2016, nr 46 [6], s. 702).

332 Zob. np. A. Ceresole, G. Dall'Agata, A. Giryavets i in., *Domain walls, near-BPS bubbles, and probabilities in the landscape*, „Physical Review D" 2006, nr 74, s. 086010. Fizyk Don Page przyjął inne podejście do formułowania problemu mózgu boltzmannowskiego, zauważając, że w każdej skończonej objętości przestrzeni poddanej przyspieszonej ekspansji, takiej jak nasza, będzie istnieć – nieograniczona w czasie – nieograniczona liczba spontanicznie tworzonych mózgów. Aby uniknąć stwierdzenia, że nasze mózgi są nietypowymi członkami w tej rozszerzającej się objętości, Page sugeruje, że nasz region nie ma nieograniczonego czasu i zmierza do pewnego rodzaju zniszczenia. Jego obliczenia (Don N. Page, *Is our universe decaying at an astronomical rate?*, „Physics Letters B" 2008, nr 669, s. 197–200) wskazują, że maksymalny czas życia naszego Wszechświata może wynosić zaledwie 20 miliardów lat. Wielu innych fizyków (zob. np. R. Bousso i B. Freivogel, *A Paradox in the Global Description of the Multiverse*, „Journal of High Energy Physics" 2007, nr 6, s. 018; A. Linde, *Sinks in the Landscape, Boltzmann Brains, and the Cosmological Constant Problem*, „Journal of Cosmology and Astroparticle Physics" 2007, nr 0701, nr 022; A. Vilenkin, *Predictions from Quantum Cosmology*, „Physical Review Letters" 1995, nr 74, s. 846) zasugerowało inne sposoby unikania problemu mózgów boltzmannowskich,

wykorzystując różne formalizmy matematyczne do obliczania prawdopodobieństwa ich powstania. Krótko mówiąc, pozostaje wiele niezgody co do sposobu obliczania prawdopodobieństwa tego rodzaju procesów; bez wątpienia jest to owocne źródło kontrowersji, które mogą być przyczyną dalszych badań.

333 Kimberly K. Boddy, Sean M. Carroll, *Can the Higgs Boson Save Us from the Menace of the Boltzmann Brains?*, 2013, arXiv:1308.468.

334 Przynajmniej taka jest historia opowiedziana przez równania Einsteina. Ustalenie, czy ten potężny kryzys będzie prawdziwym końcem, czy też jakaś odmiana egzotycznych procesów powtórzy się w ostatniej chwili, będzie wymagało pełnego kwantowego opisu grawitacji. Obecnie panuje ogólna zgoda co do tego, że tunelowanie do wartości ujemnej daje stan końcowy – w tej dziedzinie prawdziwy koniec czasu.

335 Paul J. Steinhardt, Neil Turok, *The cyclic model simplified*, „New Astronomy Reviews" 2005, nr 49, s. 43–57; Anna Ijjas, Paul Steinhardt, *A New Kind of Cyclic Universe*, 2019, arXiv:1904.0822[gr-qc].

336 Alexander Friedmann, przeł. Brian Doyle, *On the Curvature of Space*, „Zeitschrift für Physik" 1922, nr 10, s. 377–386; Richard C. Tolman, *On the problem of the entropy of the universe as a whole*, „Physical Review" 1931, nr 37, s. 1639–1660; tegoż, *On the theoretical requirements for a periodic behavior of the universe*, „Physical Review" 1931, nr 38, s. 1758–1771.

337 Bardziej niż prawdopodobne jest jednak, że sprawa nie będzie jasna. Powodem jest fakt, że paradygmat inflacyjny może również uwzględniać brak pierwotnych fal grawitacyjnych: modele redukujące skalę energetyczną inflacji wytworzyłyby fale zbyt słabe, aby dało się je zaobserwować. Niektórzy badacze stanowczo twierdzą, że takie modele są nienaturalne, a zatem mniej przekonujące niż model cykliczny. Jest to jednak osąd jakościowy i różni badacze będą mieli wobec niego różne opinie. Potencjalne dane, do których się odwołuję (a w rzeczywistości ich brak), z pewnością otworzyłyby gorącą debatę w środowisku fizycznym między zwolennikami tych dwóch teorii kosmologicznych, ale jest mało prawdopodobne, że scenariusz inflacyjny zostałby porzucony.

338 Chociaż rozważania w tym rozdziale wybiegają zbyt daleko, zauważę jednak, że istnieje wersja kosmologii cyklicznej, która może się wyłonić również z bardziej standardowych scenariuszy kosmologicznych. O ile różni się ona znacznie od opisanego właśnie podejścia cyklicznego, o tyle obejmuje epizody sekwencyjne, ale z ogromnie długimi odcinkami czasu i powstającymi dzięki zupełnie innemu mechanizmowi. Aspekty fizyczne tej teorii pod koniec XIX wieku opracował matematyk Henri Poincaré; obecnie nazywana jest *twierdzeniem Poincarégo o powrocie*. Aby zrozumieć sedno tego twierdzenia, pomyśl o tasowaniu talii kart. Ponieważ istnieje tylko skończona liczba różnych kolejności kart (owszem,

ogromna, ale zdecydowanie skończona), to jeśli nadal będziesz je tasować, prędzej czy później kolejność kart musi się powtórzyć. Poincaré zdał sobie sprawę, że jeśli masz, powiedzmy, cząsteczki pary losowo odbijające się od ścianek pojemnika, to wśród nich musi też wystąpić podobny rodzaj powtarzania. Na przykład wyobraź sobie, że w jednym z rogów pojemnika umieszczam skupisko cząsteczek pary, a następnie pozwalam im się rozproszyć. Szybko wypełnią one pojemnik i przez spektakularnie długi czas utrzyma się ich jednolity rozkład, ponieważ nadal będą się losowo przemieszczać po dostępnej przestrzeni. Natomiast jeśli zaczekamy wystarczająco długo, to molekuły zaczną przypadkowo migrować do bardziej uporządkowanych konfiguracji o niższej entropii. Poincaré poszedł dalej. Dowodził, że molekuły, dzięki swoim losowym ruchom, zbliżą się dowolnie blisko do tej samej konfiguracji, od której rozpoczęły swój ruch: ciasnego zgrupowania w rogu pojemnika. Rozumowanie jest podobne do tego, w jaki sposób doszliśmy do wniosku, że kolejność kart po niekończących się tasowaniach talii musi się powtórzyć. W nieskończonym zbiorze losowych położeń i prędkości skończonej liczby cząsteczek położenia i prędkości muszą się powtarzać. Możecie być sceptycznie nastawieni wobec tego twierdzenia – w przeciwieństwie do przypadku potasowanych kart dla cząsteczek pary w pojemniku istnieje nieskończenie wiele różnych konfiguracji. Jednak Poincaré odniósł się do tej komplikacji następująco: nie opowiadał się za dokładnym odtworzeniem wcześniejszej konfiguracji, ale raczej za dowolnie bliskim jej przybliżeniem. Im dokładniejsze jest pożądane odtworzenie, tym dłużej trzeba będzie czekać, ale jeśli wybierzemy dowolnie bliskie przybliżenie, to cząsteczki odtworzą wcześniejszą konfigurację z takim właśnie przybliżeniem. Chociaż rozumowanie Poincarégo należało do fizyki klasycznej, to w latach pięćdziesiątych jego twierdzenie zostało rozszerzone na mechanikę kwantową. Jeśli uruchomimy układ zamknięty, określiwszy prawdopodobieństwo, że jego cząstki znajdą się w danych miejscach, i pozwolimy mu ewoluować przez wystarczająco długi czas, to prawdopodobieństwa te będą arbitralnie zbliżone do ich początkowych wartości – cykl ten będzie się powtarzał w nieskończoność. Istotne dla argumentacji Poincarégo, czy to klasycznej, czy kwantowej, jest to, że para jest ograniczona do zbiornika. W przeciwnym razie molekuły będą nadal rozpraszać się na zewnątrz, nigdy nie powrócą. Ponieważ Wszechświat nie jest zamkniętym pojemnikiem, można by pomyśleć, że twierdzenie Poincarégo nie ma znaczenia kosmologicznego. Jak jednak wspomniałem w przypisie 323, Leonard Susskind argumentował, że horyzont kosmologiczny rzeczywiście działa jak ściany pojemnika: ogranicza część Wszechświata, z którą możemy wchodzić w interakcję, do skończonej wielkości, co świadczy o tym, że twierdzenie Poincarégo można zastosować. Tak jak para wodna w zbiorniku w niezwykle długich odstępach czasu będzie powracać arbitralnie blisko dowolnej konfiguracji, to samo dotyczy warunków panujących wewnątrz naszego horyzontu kosmologicznego: dowolna konfiguracja cząstek i pól, z dowolną precyzją, będzie w kółko realizowana. Jest to dosłowna wersja wiecznego powrotu. Na podstawie wielkości naszego horyzontu kosmologicznego

możemy obliczyć skalę czasową niezbędną do powrotu, a wynikiem tego jest najdłuższa skala czasowa, jaką kiedykolwiek napotkaliśmy – około $10^{10^{120}}$ lat. Nie sposób nie myśleć o takich przedziałach czasowych w kategoriach ziemskich. Każdy ze stu miliardów ludzi, którzy żyli i umierali, był konfiguracją cząstek. Jeśli te konfiguracje zostaną zrealizowane jeszcze raz, to jak widać, taka linia rozumowania zmierza ku temu, czego nauka na ogół unika z niesmakiem. Zanim wyobraźnia zbytnio nas poniesie, zauważmy, że, jak wspomniałem, spontaniczne spadki entropii mogą zagrozić samej podstawie racjonalnego rozumowania. Skoro przypadkowa rekonfiguracja cząsteczek i pól wywołuje nowy rozwój kosmologiczny – nowy Wielki Wybuch – z którego ostatecznie powstają gwiazdy, planety i ludzie, to wszystko w porządku. Jeśli jednak okaże się, że istnieje większe prawdopodobieństwo, iż spontanicznie odtworzymy takie warunki, jak te panujące we współczesnym Wszechświecie – bez Wielkiego Wybuchu i bez rozwoju kosmologicznego – to znajdziemy się w tym samym bagnie, które napotkaliśmy w przypadku mózgów boltzmannowskich. Nawet jeśli nasz Wszechświat wyłoniłby się w zgodny z odkryciami kosmologii sposób, który opisaliśmy w poprzednich rozdziałach, to patrząc w daleką przyszłość, doszlibyśmy do wniosku, że zdecydowana większość obserwatorów takich jak my (tacy, którzy mieliby takie same wspomnienia jak my, a więc twierdziliby, że są nami) nie powstałaby w tym kosmologicznym ciągu. Jednak każdy z nich będzie myślał, że tak było. Podobnie jak w przypadku mózgów boltzmannowskich, wpadniemy w epistemologiczny impas. Możemy sugerować, że nie podważy to *naszego* postrzegania rzeczywistości – ty i ja, i wszystko, co jest nam znane, istotnie mogło się wyłonić dzięki rozwojowi kosmologicznemu. Niepokojącym spostrzeżeniem jest jednak to, że w przyszłości każdy może się natknąć na tę samą pocieszającą historię, a jednak większość byłaby w błędzie. Biorąc pod uwagę, że zdecydowana większość obserwatorów w całej skali czasu nie wyłoniłaby się ze standardowej ewolucji kosmologicznej, potrzebowalibyśmy przekonującego argumentu, iż nie znajdujemy się wśród tych, którzy zostali oszukani. I jest to argument, który starali się sformułować fizycy, ale do tej pory żaden nie uzyskał szerokiej akceptacji. Częścią problemu jest to, że nie rozumiemy jeszcze w pełni związku, jaki zachodzi między mechaniką kwantową a grawitacją, a więc nasze schematy obliczeniowe są niepewne. W obliczu tej sytuacji niektórzy fizycy, przede wszystkim Susskind, zasugerowali, że stała kosmologiczna może nie być naprawdę stała. Przecież gdyby w dalekiej przyszłości stała kosmologiczna zniknęła, zakończyłaby się epoka przyspieszonej ekspansji i zniknąłby horyzont kosmologiczny. Dzięki temu nawroty Poincarégo zostałyby wyeliminowane. Oczekujemy obserwacji, które dadzą optymistyczny wgląd w tę potencjalną przyszłość.

339 Ponieważ ekspansja inflacyjna zaczyna się od maleńkiego obszaru przestrzeni, który gwałtownie rozszerza się pod wpływem siły odpychającej grawitacji, można by pomyśleć, że powstała sfera będzie miała skończony rozmiar.

Przecież niezależnie od tego, jak bardzo rozciągniesz coś skończonego, pozostanie to skończone. Ale rzeczywistość jest bardziej skomplikowana. W standardowym sformułowaniu teorii inflacji mieszanie się przestrzeni i czasu powoduje, że obserwatorzy znajdują się *wewnątrz* rozszerzającego się obszaru przestrzeń, która jest *nieskończona*. Wyjaśniam to szczegółowo w rozdziale 2 *Ukrytej rzeczywistości*, do którego odsyłam zainteresowanego czytelnika w celu pełniejszego wyjaśnienia. Zauważmy również, że kosmologia inflacyjna może stworzyć odrębny, ale powiązany wieloświat: Wspólną cechą wielu scenariuszy inflacyjnych jest to, że ekspansja inflacyjna nie jest wydarzeniem jednorazowym. Zamiast tego odrębne wybuchy ekspansji inflacyjnej mogą prowadzić do powstania wielu – ogólnie, nieskończenie wielu – rozszerzających się wszechświatów, przy czym nasz wszechświat jest tylko jednym w tym ogromnym zbiorze. Zbiór takich wszechświatów jest znany jako inflacyjny wieloświat i powstaje z tego, co jest znane jako wieczna inflacja. Aspekty wieloświata, które opisuję w tym rozdziale, odnoszą się również do wieloświata inflacyjnego. Szczegółowe informacje znajdują się w rozdziale 3 *Ukrytej rzeczywistości*.

340 Aby uniknąć oddziaływania na ich granicach, można otoczyć każdy taki region wystarczająco dużym buforem, upewniając się, że każdy region nie ma kontaktu z żadnym innym.

341 Jaume Garriga and Alexander Vilenkin, *Many Worlds in One*, *Physical Review* D 64, nr 4 (2001): 043511. Zobacz także J. Garriga, V.F. Mukhanov, K.D. Olum i A. Vilenkin, *Eternal Inflation, Black Holes, and the Future of Civilization*s, *International Journal of Theoretical Physics* 39, nr 7 (2000): 1887–1900, oraz Alex Vilenkin, *Many Worlds in One* (New York: Hill and Wang, 2006).

Rozdział 11
Szlachetność bycia

Umysł, materia i znaczenie

Przewodnik w Parku Narodowym Pilanesberg z karabinem zawieszonym nisko na plecach sprawdzał starannie, czy towarzyszący mu pieszo turyści reagowaliby odpowiednio, gdyby słoń, hipopotam lub lew zbliżył się do kogoś, naruszając jego poczucie bezpieczeństwa. „Ty... ...zostań ...nieruchomo – powiedział, podkreślając każde słowo, powoli przesuwając wzrok po grupie. – Uciekasz przed lwem? Reszta twego życia będzie próbą wygrania tego wyścigu". Wszyscy szeptaliśmy „tak", „oczywiście" i „absolutnie", lekko się uśmiechając. Właśnie wtedy spojrzałem w dół na rękaw mojej luźno zwisającej koszuli. Rozpoznanie tego, co przywarło do jej mankietu, nie stanowiło problemu. Według mnie była to tarantula. I lazła dalej do góry. Przeraziłem się. Machałem ramieniem tam i z powrotem, zrzucając okulary ze stołu. Wyskoczyłem z krzesła, a talerze, które przetrwały moje pierwsze wymachy, teraz też pospadały. W chaosie tarantula, czy cokolwiek przerażającego to było, odpadła. Kiedy się opanowałem, to małe stworzenie rozmiaru niewielkiej monety było już na ziemi i powoli odpełzało. „Ach – mruknął przewodnik z uśmiechem, gdy wszyscy się uspokoili. – Wszechświat przemówił w imieniu naszego przyjaciela fizyka. Ty będziesz jechał w dżipie". I jechałem.

Wszechświat nie przemówił za mnie. Ten atak był przypadkowy, a chwila, w której nastąpił, to ślepy traf. Gdybym był bezstronny,

zastosowałbym moją standardową ripostę, wspomnianą wcześniej, że wobec braku takiego zdarzenia nie byłoby się co dziwić, że taki zbieg okoliczności *nie* zaszedł. Ale prawda jest taka, że przez krótką chwilę ten wstydliwy epizod nabrał znaczenia. Czułem już niepokój na myśl o safari na piechotę, zastanawiałem się, czy nie powinienem się wycofać, a potem otrzymałem indywidualne ostrzeżenie, że to szczególne ryzyko nie jest w interesie kogoś, kto zagubiony w myślach może być niemal śmiertelnie zaskoczony nieoczekiwanym „hello". Racjonalnie rzecz biorąc, wiem, że tego typu gadanie to głupota. Wszechświat nie ma na oku tego, co robię, ani zagrożeń, przed którymi staję. Mimo to, podczas gdy atawistyczne instynkty podsycone atakiem tarantuli stopniowo ustępowały, racjonalna myśl była o krok lub dwa od odzyskania pełnej kontroli.

Wrażliwość na wzorce jest, po części, tym, czym zwyciężyliśmy. Poszukujemy związków. Zwracamy uwagę na przypadki. Zauważamy prawidłowości. Nadajemy znaczenie. Jednak tylko niektóre z owych znaczeń wynikają z przemyślanych analiz określających te cechy rzeczywistości, które można udowodnić. Wiele z nich wyłania się z wynikającej z emocji woli narzucania pozorów porządku na chaos doświadczenia.

Porządek i znaczenie

Często odnosimy wrażenie, jakby nasze równania matematyczne istniały gdzieś tam w świecie i bezustannie kontrolowały wszystkie procesy fizyczne, od kwarków do kosmosu. Tak może być. Być może pewnego dnia ustalimy, że matematyka jest w pełni wszyta w gobelin rzeczywistości. Kiedy dzień w dzień pracujesz nad równaniami, na pewno tak to odczuwasz. Jestem jednak bardziej pewny twierdzenia, że natura działa zgodnie z prawami – że Wszechświat zbudowany jest ze składników, których zachowania są zgodne z prawami rozwoju – a to jest istotą podróży, którą odbyliśmy w tej książce. Równania leżące u podstaw współczesnej fizyki stanowią nasze najbardziej precyzyjne określenie tych praw. Za pomocą starannych eksperymentów i obserwacji ustaliliśmy, że

równania te pozwalają na sformułowanie spektakularnie dokładnego obrazu świata. Nie ma jednak żadnej gwarancji, że są one wyrażone w wewnętrznym leksykonie natury. Chociaż uważam to za mało prawdopodobne, dopuszczam możliwość, że w przyszłości, kiedy z dumą pokażemy obcym nasze równania, grzecznie się uśmiechną, powiedzą nam, że oni też zaczęli od matematyki, ale potem odkryli *prawdziwy* język rzeczywistości.

Historycznie rzecz biorąc, fizyczna intuicja naszych przodków opierała się na wzorcach widocznych w tym, co było im znajome, od spadających skał przez pękające gałęzie aż po rwące strumienie; oczywista wartość przetrwania tkwi w posiadaniu wrodzonego poczucia codziennej mechaniki. Z czasem wykorzystaliśmy nasze zdolności poznawcze, by wyjść poza intuicję promującą przetrwanie, wyjaśniając i kodując wzorce z domen rozciągających się od mikroświata pojedynczych cząstek do makrokosmosu gromad galaktyk, choć wiele z nich ma niewielką wartość adaptacyjną lub nie ma żadnej. Kształtując intuicję i rozwijając umiejętności poznawcze, ewolucja zapoczątkowała naszą edukację w dziedzinie fizyki, ale bardziej wszechstronnie zaczęliśmy rozumieć dzięki sile naszej ludzkiej ciekawości wyrażonej językiem matematyki. Napisane w tym języku równania są bardzo użyteczne w poznawaniu głębokiej struktury rzeczywistości, chociaż stanowią konstrukty ludzkiego umysłu.

Trzymam się tego punktu widzenia, kiedy skupiamy się na cechach wpływających na naszą ocenę ludzkiego doświadczenia. Poprawny i niepoprawny, dobry i zły, przeznaczenie i cel, wartość i znaczenie są pojęciami głęboko przydatnymi, ale nie należę do tych, którzy uważają, że osądy moralne i przypisywanie znaczenia wykraczają poza ludzki umysł. To my wymyśliliśmy te cechy. Nie wyssaliśmy ich z palca. Nasze umysły powstałe w wyniku darwinowskiego doboru naturalnego mają predyspozycję do tego, by przyciągać lub odrzucać różne idee i zachowania lub by się ich bać. Na całym świecie opieka nad młodymi daje dobre wyniki, a kazirodztwo jest odrażające. Uczciwość w codziennych kontaktach jest powszechnie ceniona, podobnie jak lojalność wobec rodziny i rodaków. Gdy nasi przodkowie gromadzili się w grupach, wzajemne oddziaływanie tych

i wielu innych predyspozycji ze zdarzeniami zachodzącymi w społeczeństwie tworzyło pętle sprzężenia zwrotnego: zachowanie jednostek wpływało na efektywność życia w grupie, prowadząc do stopniowego tworzenia kodeksów postępowania obejmujących wspólnotę. Z kolei takie kodeksy zachowań wnosiły zróżnicowaną wartość przetrwania dla tych, którzy się nimi kierowali[342]. Dobór naturalny zarówno kształtował naszą intuicję fizyczną, jak i miał swój udział w formowaniu naszego wrodzonego poczucia moralności i wartości.

Nawet wśród tych, którzy zgadzają się z przekonaniem, że kodeksy moralne nie są narzucane z góry ani nie unoszą się w abstrakcyjnej sferze prawdy, toczy się ważna debata na temat roli ludzkiego poznania w rozwoju wczesnej uczuciowości. Niektórzy sugerują, że podobnie jak w przypadku wzorca rozwoju fizyki, ewolucja odcisnęła swoje piętno na podstawach moralności, ale zdolności poznawcze pozwoliły nam wykroczyć poza te wrodzone podstawy i kształtować niezależne postawy i przekonania[343]. Inni sugerują, że potrafimy wykorzystywać sprawność poznawczą do wyjaśniania naszych zobowiązań moralnych, ale takie wyjaśnienia są jedynie opowiastkami, racjonalizacją osądów zakotwiczonych w naszej ewolucyjnej przeszłości[344].

Zagadnieniem godnym przypomnienia jest to, że żadne z tych stanowisk nie opiera się na tradycyjnej koncepcji wolnej woli. Opisując ludzkie zachowania, powołujemy się na amalgamat czynników, od instynktu i pamięci po postrzeganie i oczekiwania społeczne. Jednak, jak już wcześniej argumentowano, tego typu relacje wysokiego poziomu – leżące u podstaw tego, jak my, ludzie, rozumiemy świat – wyłaniają się ze złożonego łańcucha procesów, które ostatecznie opierają się na dynamice podstawowych składników natury. Wszyscy jesteśmy zbiorem cząstek, beneficjentami niezliczonych bitew ewolucyjnych, które uwolniły nasze zachowania i dały nam zdolność do opóźniania rozpadu powodowanego wzrostem entropii. Jednak takie triumfy nie dają nam kontrolowanej wolną wolą władzy nad rozwojem fizycznym świata; ten rozwój nie oczekuje naszych osądów i ocen moralnych. Mówiąc precyzyjniej: nasze życzenia, osądy i oceny moralne są po

prostu częścią fizycznego rozwoju świata, podlegającego beznamiętnym prawom natury.

Nasz opis tego postępu odwołuje się do bezosobowych reguł matematycznych, które za pomocą symboli ukazują, jak Wszechświat będzie się rozwijał, chwila po chwili. A przez większość przeszłości, zanim pojawił się zbiór cząstek zdolnych do refleksji nad rzeczywistością, ta opowieść była opowieścią pełną. Znając teraz istotne szczegóły, możemy szczegółowo opowiedzieć naszą najbardziej udoskonaloną, jednak tymczasową wersję tej historii – szybko, w skrócie, dla ułatwienia języka, z antropomorficzną nutą.

Około 13,8 miliarda lat temu w dziko rozszerzającej się przestrzeni rozpadła się energia zawarta w maleńkiej, ale uporządkowanej chmurze pola inflatonu, wyłączając odpychającą grawitację, wypełniając przestrzeń cząstkami i rozsiewając syntezę najprostszych jąder atomowych. Tam, gdzie nieokreśloność kwantowa powodowała, że gęstość cząstek była nieco wyższa, przyciąganie grawitacyjne było nieco silniejsze, skłaniając cząstki do skupiania się razem w coraz większe bryły, tworzące gwiazdy, planety, księżyce i inne ciała niebieskie. Synteza jądrowa zachodząca wewnątrz gwiazd, jak również rzadkie, lecz potężne zderzenia gwiazd stapiały proste jądra w bardziej złożone atomy, które po opadnięciu co najmniej na jedną planetę będącą w początkowej fazie swego tworzenia dzięki darwinizmowi molekularnemu zostały połączone w układy zdolne do autoreplikacji. Przypadkowe zmiany uporządkowania układów, które sprzyjały płodności molekularnej, rozprzestrzeniły się szeroko. A wśród nich były molekularne szlaki wydobywania, przechowywania i rozpraszania informacji i energii – podstawowe procesy życiowe – które stawały się coraz bardziej ulepszone dzięki długotrwałej darwinowskiej ewolucji. Z czasem wyłoniły się złożone, samodzielne żywe istoty.

Cząsteczki i pola. Prawa fizyki i warunki początkowe. Aż do głębi rzeczywistości, którą już opanowaliśmy, nie ma żadnych dowodów na nic innego. Cząsteczki i pola to elementarne składniki. Prawa fizyki pod wpływem warunków początkowych dyktują dalszy rozwój. Ponieważ rzeczywistość jest kwantowomechaniczna, wymowa praw ma charakter probabilistyczny, ale mimo to prawdopodobieństwo jest

ściśle określone przez matematykę. Cząstki i pola robią to, co robią, nie martwiąc się o wartość czy znaczenie. Nawet gdy ich obojętna matematyczna sekwencja daje życie, prawa fizyczne zachowują pełną kontrolę. Życie nie ma zdolności do ingerowania w prawa fizyki, obalania ich ani wpływania na nie.

To, co życie może zrobić, to ułatwianie grupom cząstek zgodnego działania i przejawiania zbiorowych zachowań, które w porównaniu ze światem nieożywionym są nowe. Cząstki tworzące nagietki i kulki marmurowe w pełni podlegają prawom natury, a jednak nagietek rośnie i podąża za słońcem, podczas gdy kulka marmurowa nie. Za sprawą siły doboru ewolucja bierze udział w kształtowaniu repertuaru zachowań życiowych, sprzyjających działaniom umożliwiającym przetrwanie i rozmnażanie. Wśród nich finalnie jest myślenie. Zdolność do tworzenia wspomnień, analizowania sytuacji i ekstrapolowania doświadczenia zapewnia silną pozycję w wyścigu o przetrwanie. Dzięki serii zwycięstw w ciągu dziesiątków tysięcy pokoleń myśl się stopniowo udoskonalała, co prowadziło do pojawienia się istot myślących, które uzyskały różny stopień samoświadomości. Wola takich istot nie jest wolna w tradycyjnym sensie przekraczania tego, co dyktują prawa fizyki, ale ich wysoce zorganizowana struktura pozwala na bogactwo reakcji – od wewnętrznych emocji do zewnętrznych zachowań – które, przynajmniej do tej pory, są niedostępne dla nieożywionych zbiorów cząstek pozbawionych umysłu.

Dodajmy do tego język, a jeden z takich samoświadomych gatunków wzniesie się ponad potrzeby chwili, aby widzieć siebie jako część rozwoju przeszłości w przyszłość. Dzięki temu wygranie walki nie jest już jedynym zmartwieniem. Nie jesteśmy już zadowoleni z tego, że tylko przetrwamy. Chcemy wiedzieć, dlaczego przetrwanie jest ważne. Szukamy kontekstu. Szukamy znaczenia. Przypisujemy wartość. Oceniamy zachowanie. Chcemy mieć znaczenie.

I tak wyjaśniamy, jak powstał Wszechświat i jak może się on skończyć. Opowiadamy wciąż historie umysłów odnoszących sukcesy w świecie, prawdziwe i wymyślone. Wyobrażamy sobie sfery zamieszkane przez zmarłych przodków lub wszechmocne istoty, które redukują śmierć do etapu przejściowego trwającej egzystencji.

Malujemy i rzeźbimy, śpiewamy i tańczymy, aby dotknąć tych innych światów lub oddać im hołd albo po prostu by pozostawić w przyszłości coś, co świadczy o naszym krótkim pobycie pod Słońcem. Być może te pasje utrwalą się i staną częścią tego, czym jest bycie człowiekiem, ponieważ umacniają przetrwanie. Opowieści przygotowują umysł na niespodziewane; sztuka rozwija wyobraźnię i innowację; muzyka wyostrza wrażliwość na wzorce; religia wiąże wyznawców silnym przymierzem. Być może też wyjaśnienie jest mniej wzniosłe: niektóre lub wszystkie aktywności mogą się wyłaniać i utrzymywać, ponieważ dołączają do innych zachowań, które odgrywają bezpośrednią rolę w czynieniu postępów w przetrwaniu – lub na takie zachowania wywierają nacisk. Choć nawet ich ewolucyjny początek jest pożywką dla debaty, te aspekty ludzkiego zachowania okazują powszechną potrzebę wyjścia poza zwykłe przemijające przetrwanie. Ujawniają one wszechogarniającą tęsknotę za byciem częścią czegoś większego, czegoś trwałego. Wartość i znaczenie, zdecydowanie nieobecne w podstawach rzeczywistości, stają się nieodłączną częścią pragnienia, które stawia nas ponad obojętną naturą.

Śmiertelność i znaczenie

Podczas gdy Gottfried Leibniz zastanawiał się, dlaczego istnieje raczej coś niż nic, głęboko osobistym dylematem jest to, że samoświadome coś, jak my, rozpływa się potem w nicość. Doczesny punkt widzenia to uświadomienie sobie, że tryskająca energią aktywność ożywiająca własny umysł pewnego dnia ustanie.

Na tle tej świadomości badaliśmy w poprzednich rozdziałach cały bezkres czasu, od jego początku, tak jak go rozumiemy, po koniec ukazany w matematycznych teoriach. Czy nasza wiedza nadal będzie się rozwijać? Oczywiście. Czy szczegóły – niektóre drobne, a inne istotne – zostaną poprawione lub zastąpione? Bez wątpienia. Mimo to rytm narodzin i śmierci, tworzenia i rozpadu, który obserwowaliśmy wzdłuż linii czasu, będzie się utrzymywał. Dwuetapowość entropii i ewolucyjne siły doboru naturalnego

wzbogacają drogę od porządku do nieporządku o zdumiewającą strukturę, ale czy to gwiazdy, czy czarne dziury, czy planety, czy ludzie, cząsteczki, czy atomy – wszystkie ostatecznie się rozpadną. Długowieczność jest bardzo zróżnicowana. Jednak fakt, że wszyscy umrzemy i umrze gatunek ludzki, oraz fakt, że życie i umysł, przynajmniej w tym Wszechświecie, z pewnością też umrą, jest zwykłą, długoterminową konsekwencją praw fizyki. Jedyną nowością jest to, że to zauważamy.

Częste i pełne napięcia oczekiwanie, lekko traktowane przez wielu i intensywnie badane przez niektórych, jest takie, że byłoby nam znacznie lepiej, gdyby śmierć całkowicie zniknęła z ludzkiego życia. Od starożytnego mitu do współczesnej fikcji myśliciele zastanawiali się nad tym zagadnieniem. Być może jest to znamienne, ale takie próby nie zawsze okazują się udane. Nieśmiertelni Jonathana Swifta w krainie Luggnagg wciąż się starzeją i są prawnie uznawani za zmarłych w wieku lat osiemdziesięciu, gdy stają się nieistotni. Bohaterka Karela Čapka, Elina Makropulos, przetrwawszy ponad trzysta lat, pozwala, by formuła eliksiru przedłużającego życie spłonęła, by nie kontynuować życia w głębokiej nudzie. Żyjąc w nieskończonym świecie pozbawionym śmierci, bohater *Nieśmiertelnego* Jorge Luisa Borgesa pisze: „nikt nie jest kimś, jeden człowiek nieśmiertelny jest wszystkimi ludźmi (...) jestem bogiem, jestem bohaterem, jestem filozofem, jestem demonem i jestem światem, co jest męczącym sposobem powiedzenia, że nie istnieję”[345].

Filozofowie drepczą również w tym miejscu, oferując systematyczną ocenę życia w świecie bez śmierci. Niektórzy, jak Bernard Williams zainspirowany operową adaptacją sztuki Čapka autorstwa Leoša Janačka, dochodzą do podobnie ponurych wniosków[346]. Williams twierdzi, że dysponując nieskończonym czasem, każdy z nas zaspokoiłby każde dążenie, które popycha nas do przodu, czyniąc nas obojętnymi w obliczu otępiającej monotonnej wieczności. Inni, jak Aaron Smuts, po części zainspirowani opowiadaniem Borgesa, twierdzą, że nieśmiertelność pozbawiłaby decyzje, które kształtują ludzkie życie – jak spędzić czas i z kim – istotnych dla ich znaczenia konsekwencji. Dokonać złego wyboru?

Nie ma problemu. Masz wieczność, by to naprawić. Zadowolenie z osiągnięć również padłoby ofiarą nieśmiertelności. Ci, którzy mają ograniczone zdolności, osiągnęliby swój potencjał, a następnie doświadczaliby wiecznej frustracji; ci, którzy mają nieograniczone zdolności, mieliby gwarancję, że będą je stale doskonalić, osłabiając poczucie zadowolenia, które wynika z osiągania lepszych wyników, niż oczekiwano[347].

Niezależnie od tych obaw podejrzewam, że jesteśmy wystarczająco zaradni – a obdarzeni niekończącym się czasem stawalibyśmy się coraz bardziej sprytni – abyśmy wyrośli na doskonale przystosowanych nieśmiertelnych. Nasze potrzeby i możliwości prawdopodobnie zmieniłyby się nie do poznania, co sprawiłoby, że ocena oparta na tym, co nas angażuje i motywuje tu i teraz, miałaby niewielkie znaczenie lub nie miałaby go wcale. Gdyby wieczna radość życia wymagała innego smaku radości, tobyśmy ją znaleźli, wymyślili lub rozwinęli. Jest to nic więcej oczywiście jak przeczucie, ale stwierdzenie, że koniecznie musielibyśmy się nudzić, sugeruje zbyt zaściankową wizję nieśmiertelnego umysłu.

Podczas gdy nauka będzie nadal wydłużać życie, nasza wędrówka do dalekiej przyszłości sugeruje, że nieśmiertelność pozostanie na zawsze poza zasięgiem. Mimo to myślenie o życiu, które nigdy się nie kończy, wyjaśnia znaczenie tego, które się kończy. Wyobrażony los wartości i znaczenia w nieśmiertelnym świecie jasno pokazuje, że u śmiertelnika zrozumienie bardzo wielu naszych decyzji, wyborów, doświadczeń i reakcji wymaga postrzegania ich w kontekście ograniczonych możliwości i ograniczonego czasu trwania. Nie to, że każdego ranka skaczemy na równe nogi, lamentując „Carpe diem!”, ale głęboko zakorzeniona wiedza, że jest tak wiele poranków, kiedy w ogóle wstajemy, wpaja intuicyjny rachunek wartości, który byłby zupełnie inny w świecie o nieograniczonych możliwościach. Wyjaśnienia, które podajemy na temat studiowanych przez nas przedmiotów, zawodów, których się uczymy, pracy, którą wykonujemy, ryzyka, które podejmujemy, partnerów, do których dołączamy, rodzin, które tworzymy, celów, które stawiamy, obaw, które mamy – wszystko to odzwierciedla ograniczoność możliwości, wynikającą z ograniczoności naszego czasu.

Każdy z nas reaguje na tę ograniczoność na swój sposób, ale istnieją cechy wspólne, które wynikają z ludzkiego poczucia wartości. Wśród nich jest zaskakująco silna, ale często niewypowiedziana potrzeba przyszłości zaludnionej naszymi potomkami, którzy będą kontynuować rozpoczęte przez nas dzieło, gdy już odejdziemy.

Potomkowie

Wiele lat temu zostałem poproszony o udział w rozmowie z publicznością po widowisku wystawionym poza Broadwayem, w którym bohaterowie zdają sobie sprawę, że Ziemia wkrótce zostanie zniszczona przez asteroidę. Wraz ze mną w roli dyskutanta miał wystąpić mój brat; producenci przewidywali, że komentarz na temat końca świata pochodzący od braci, których życie podążyło rozbieżnymi drogami – jeden zagłębiony w nauce, a drugi w religii – zadowoli tłumy. Szczerze mówiąc, nie myślałem zbyt wiele o takich sprawach przed tym wydarzeniem, a w tamtych czasach byłem znacznie bardziej podatny na reakcje widzów. Im bardziej mój brat zbliżał się do eterycznych sfer, tym bardziej stawałem się szczery. „Ziemia to przeciętna planeta krążąca wokół nijakiej gwiazdy na peryferiach zwykłej galaktyki. Jeśli zostaniemy wyeliminowani przez asteroidę, Wszechświat nawet nie mrugnie. W wielkim planie rzeczy to po prostu nie będzie miało znaczenia". Surowość mego stanowiska podobała się niektórym, przypuszczam, że tym, którzy uważali się za rozsądnych sceptyków dzielnie stawiających czoła rzeczywistości istnienia. Natomiast innym, niestety, moje uwagi wydały się przejawem próżności. Cóż, przynajmniej jeden z widzów tak uważał: starsza kobieta, która zbeształa mnie za zdeptanie podkutymi kopytami niezbędnej potrzeby, odczuwanej przez wszystkich, żeby nasz gatunek trwał. „Co bardziej tobą wstrząśnie – zapytała – wiadomość, że pozostał ci rok życia, czy to, że za rok Ziemia zostanie zniszczona?"

Znalazłem wówczas jakieś zręczne wyjście, odpowiadając, że będzie to zależeć od tego, czy oba skutki będą wiązały się z bólem, ale później, gdy zastanawiałem się nad tym pytaniem, stwierdziłem,

że jest nieoczekiwanie pouczające. Diagnoza wiążąca się ze śmiercią wpływa w różny sposób na ludzi – skupia uwagę, daje perspektywę, powoduje żal, podsyca panikę, przynosi spokój, inspiruje objawienie. Przewidywałem, że moja własna reakcja znajdzie się gdzieś wśród nich. Natomiast perspektywa, że Ziemia i cała ludzkość zostaną zmiecione, wywołała inny rodzaj reakcji. Wiadomość taka sprawiłaby, że wszystko wydawałoby się raczej bezcelowe. Podczas gdy mój własny nieuchronnie zbliżający się koniec zwiększyłby intensywność, obdarzając znaczeniem chwile, które w przeciwnym razie byłyby codzienną monotonią, rozmyślanie nad końcem całego gatunku, jak się zdaje, wywołuje coś wręcz przeciwnego, daje poczucie marności. Czy nadal wstawałbym rano i chciał prowadzić badania w dziedzinie fizyki? Być może dla wygody robienia czegoś znanego, ale bez nikogo, kto mógłby wykorzystać dzisiejsze odkrycia, chęć rozwijania wiedzy znacznie by u mnie osłabła. Czy skończyłbym książkę, którą pisałem? Może dla satysfakcji ukończenia dzieła, ale gdy nie miałoby być nikogo, kto przeczyta wydrukowany tom, motywacja by zmalała. Czy nadal wysyłałbym moje dzieci do szkoły? Może dla spokoju, jaki daje rutyna, ale bez przyszłości – do czego by się miały przygotowywać?

Kontrast z tym, jak zareagowałbym na poznanie daty mojej śmierci, był dla mnie zaskakujący. Podczas gdy wydawało się, że jedna wiadomość wzmacnia świadomość wartości życia, druga jakby tę wartość pomniejszała. Odtąd zdanie sobie z tego sprawy pomogło ukształtować mi mój sposób myślenia o przyszłości. Już dawno temu miałem swoje młodzieńcze objawienie dotyczące zdolności matematyki i fizyki do przekraczania granic czasu; byłem już przekonany o egzystencjalnym znaczeniu przyszłości. Jednak mój obraz tej przyszłości był abstrakcyjny. Była to kraina równań i twierdzeń oraz praw, a nie miejsce zapełnione skałami i drzewami oraz ludźmi. Nie jestem platonikiem, ale mimo to skrycie wyobrażałem sobie, że matematyka i fizyka wykraczały nie tylko poza czas, lecz także poza zwykłe znamiona rzeczywistości materialnej. Scenariusz zagłady wyraźnie mi ukazał, że nasze równania, twierdzenia i prawa, nawet jeśli sięgają fundamentalnych prawd, same w sobie nie mają wartości. Są one przecież zbiorem linii

i zygzaków nabazgranych na tablicach lub wydrukowanych w czasopismach i podręcznikach. Ich wartość pochodzi od tych, którzy je rozumieją i doceniają, z umysłów, w których żyją.

To wyrafinowanie myślenia wykraczało daleko poza rolę równań. Doprowadziło mnie do wyobrażenia sobie przyszłości pozbawionej kogokolwiek, kto otrzymałby wszystko to, co sobie cenimy, pozbawionej kogokolwiek, kto wywarłby na nią swój wpływ i przekazał swe dokonania przyszłym pokoleniom. Scenariusz zagłady ujawnił, jak pusta byłaby taka przyszłość. O ile nieśmiertelność jednostki może osłabiać znaczenie, o tyle nieśmiertelność gatunku wydaje się konieczna, aby uczynić je bezpiecznym.

Nie jestem pewien, jak powszechna byłaby reakcja na wieść o zbliżającym się końcu, ale podejrzewam, że byłaby podobna. Filozof Samuel Scheffler niedawno rozpoczął naukowe badania tej kwestii, posługując się wariantem pytania postawionego mi kilkadziesiąt lat temu. Pyta mianowicie: „Jak byś odpowiedział, gdybyś się dowiedział, że trzydzieści dni po twojej własnej śmierci wszyscy pozostali zostaną unicestwieni?”. Jest to bardziej odkrywcza wersja wspomnianego scenariusza, ponieważ usuwa czyjąś przedwczesną śmiertelność i w ten sposób wąsko naświetla rolę potomków w zakorzenianiu wartości. Starannie przemyślany wniosek Schefflera rezonuje z moimi własnymi przemyśleniami:

> Nasze troski i zobowiązania, nasze wartości i oceny ważności, nasze poczucie tego, co ma znaczenie i co warto robić – wszystko to jest kształtowane i utrzymywane w poczuciu, że samo życie ludzkie jest kwitnącym, trwającym przedsięwzięciem (…). Ludzkość potrzebuje przyszłości ze względu na myśl, że sprawy *mają znaczenie*, aby zachować pewne miejsce w naszym repertuarze pojęciowym[348].

Inni filozofowie również wtrącili się do debaty, przedstawiając opinie, które rozszerzają zakres punktów widzenia. Susan Wolf sugeruje, że poznanie naszego wspólnego losu może wznieść troskę o innych na nowe wyżyny, ale mimo to zgadza się, że wizja

przyszłości zasiedlonej ludźmi jest istotna dla wartości, którą przypisujemy swym przedsięwzięciom[349]. Harry Frankfurt proponuje inny pogląd, zauważając, że scenariusz zagłady nie naruszy wielu spraw, które cenimy, przede wszystkim dążeń artystycznych i badań naukowych. Uważa on, że wewnętrzna satysfakcja z tych działań wystarczyłaby wielu osobom do trzymania się ich. Podałem już swój odwrotny pogląd na badania naukowe, który służy podkreśleniu związanej z tym kwestii, oczywistej, ale wymownej: ludzie będą reagować na te wiadomości różnie[350]. Co najwyżej możemy określić dominujące trendy. Dla mnie, a także dla wielu innych osób angażowanie się w twórcze poszukiwania i przedsięwzięcia naukowe jest poczuciem uczestnictwa w długim, owocnym i wciąż toczącym się dialogu. Nawet jeśli jakaś publikacja, którą napisałem, nie zadziwiła świata, to jednak sprawia, że czuję się uczestnikiem tego dialogu. Skoro jednak wiem, że jestem ostatnim, który mówi, i wiem, że w przyszłości nie będzie już nikogo, kto mógłby zastanowić się nad tym, co mówię, to po co mam się tym przejmować.

W scenariuszu Schefflera, jak również w pytaniu, które zadano mi wiele lat wcześniej, dni zagłady są hipotetyczne, ale ramy czasowe zniszczenia świata – łatwe do uchwycenia. W tej książce moment zagłady, który badaliśmy, jest prawdziwy, ale skala czasu sprawia, że jest on niezwykle odległy. Czy ta zmiana skali wpływa na wnioski? To kwestia rozważana zarówno przez Schefflera, jak i Wolf, zabawnie ujęta w filmie *Annie Hall* we wspaniałej scenie, w której dziewięcioletni Alvy Singer doszedł do wniosku, że nie ma sensu odrabiać pracy domowej, zważywszy, że za kilka miliardów lat rozszerzający się Wszechświat rozpadnie się i zniszczy wszystko. Psychiatra Alvy'ego, nie mówiąc już o jego matce, uważa obawy chłopaka za niedorzeczne. Widzowie zaś śmieją się, bo uznają je za śmieszne. Scheffler podziela te odczucia, ale zauważa, że nie ma mocnego uzasadnienia dla naszego kryzysu egzystencjalnego w obliczu nieuchronnej zagłady, a głupio go mieć, gdy owa zagłada jest tak odległa. Zapisuje to na karb trudności, jakie mamy z pojmowaniem skali czasu, która znacznie wykracza poza zakres ludzkiego doświadczenia. Wolf zgadza się z tym, zauważając, że jeśli natychmiastowa śmierć ludzkości pozbawiłby życie sensu, to

wówczas to samo jest prawdą, nawet jeśli ów moment jest odległy. Istotnie, jak zauważa, w kosmicznej skali czasu zwłoka wynosząca kilka miliardów lat nie jest wcale długa.

Zgadzam się. Zdecydowanie.

Jak już się wielokrotnie przekonaliśmy, pojęcie długiego lub krótkiego trwania nie ma absolutnego znaczenia. Długo czy krótko – to kwestia punktu widzenia. Czas wyobrażany przez platformę widokową Empire State Building na piętrze 86. jest ogromny jak na standardy życia codziennego, ale porównanie go z czasem przedstawianym przez piętro 100. jest jak konfrontacja mrugnięcia okiem z dziesięcioma tysiącami wieków. Nasz ludzki punkt widzenia skłania nas do osądów, które pomimo że istotne, są również zaściankowe. Z tego powodu postrzegam scenariusz rychłej zagłady jedynie jako narzędzie, które wykorzystuje sztuczną potrzebę do przyspieszenia wiarygodnej reakcji. Intuicja, którą zdobywamy, pozostaje istotna aż do końca, jaki oczekuje naszych potomków w dalekiej przyszłości; ta przyszłość, postrzegana w szerszym kontekście, *jest* odległa o chwilę.

O ile rzeczywiście trudno jest uwewnętrznić skalę czasu znacznie wykraczającą poza to, czego doświadczamy, o tyle podróż, jaką odbyliśmy w tej książce, zapełniła kosmiczną linię czasu punktami orientacyjnymi, które służą do skonkretyzowania abstrakcji. Nie mogę powiedzieć, że mam wrodzone poczucie skali czasu, której metaforą był Empire State Building, podobne do poczucia skali czasu życia codziennego mojego pokolenia, a nawet kilku pokoleń, ale ciąg zdarzeń transformatywnych, które badaliśmy, pomoże zrozumieć nam przyszłość. Nie ma potrzeby monotonnych śpiewów, a pozycja lotosu jest opcjonalna, ale jeśli znajdziecie ciche miejsce i pozwolicie swojemu umysłowi powoli i swobodnie unosić się wzdłuż kosmicznej osi czasu, wzdłuż naszej epoki, wzdłuż ery odległych uciekających od nas galaktyk, wzdłuż ery majestatycznych układów słonecznych, wzdłuż ery wdzięcznie wirujących galaktyk, wzdłuż ery wypalonych gwiazd i planet wędrownych, wzdłuż ery promieniujących i rozpadających się czarnych dziur, i dalej do zimnej, ciemnej, prawie pustej, ale potencjalnie nieograniczonej przestrzeni, w której dowody na to, że kiedyś istnieliśmy, sprowadzają się do odizolowanej cząstki

znajdującej się tutaj, a nie tam, lub innej odizolowanej cząstki poruszającej się w ten sposób, a nie tamten – i jeśli w ogóle jesteście tacy jak ja i pozwolicie tej rzeczywistości w pełni was opanować, to ten fakt, że podróżowaliśmy w fantastycznie odległą przyszłość, przyprawia o drżenie i napawa uczuciem ogromnego podziwu wzbierającego wewnątrz. Rzeczywiście, w jeden zasadniczy sposób ogromny upływ czasu tylko dodaje wagi prawie nieznośnej lekkości bytu; w porównaniu z czasem, który my mamy, epoka życia i umysłu jest nieskończona. Według naszej skali cały jej zakres, od najwcześniejszych mikrobów do ostatniej myśli, byłby krótszy niż czas potrzebny do tego, aby światło przemknęło przez jądro atomowe. Cały czas trwania ludzkiej działalności – bez względu na to, czy unicestwimy się w ciągu kilku następnych stuleci, czy też znajdziemy jakiś sposób na kontynuację istnienia aż do śmierci Słońca, potem Drogi Mlecznej, a nawet rozpadu złożonej materii – byłby jeszcze krótszy.

Jesteśmy efemeryczni. Jesteśmy przemijający.

Jednak nasza chwila jest wyjątkowa i niezwykła, jej poznanie pozwala nam uczynić z nietrwałości życia i niedostatku świadomości introspektywnej podstawę wartości i fundament wdzięczności. Choć możemy pragnąć niezwykle trwałego dziedzictwa, to jasność, jaką zyskujemy dzięki badaniu kosmicznej linii czasu, ujawnia, że jest ono poza zasięgiem. Jednak ta sama jasność podkreśla, jak bardzo zdumiewające jest to, że niewielki zbiór cząstek Wszechświata może powstać, zbadać siebie i rzeczywistość, w której żyje, określić, jak bardzo są one ulotne, a wraz z gwałtownym wzrostem aktywności stworzyć piękno, nawiązać połączenia i rozwikłać tajemnicę.

Znaczenie

Większość z nas spokojnie radzi sobie z potrzebą oderwania się od codzienności. Większość z nas pozwala, by cywilizacja chroniła nas przed uświadomieniem sobie, że jesteśmy częścią świata, który, gdy my odejdziemy, tętnić będzie nadal życiem, omal nie tracąc rytmu. Skupiamy naszą energię na tym, co możemy kontrolować.

Tworzymy wspólnotę. Bierzemy udział. Zależy nam. Śmiejemy się. Troszczymy się. Pocieszamy. Rozpaczamy. Żałujemy. Kochamy. Świętujemy. Poświęcamy się. Żałujemy. Cieszymy się z osiągnięć, czasem naszych, czasem tych, których szanujemy lub ubóstwiamy.

Dzięki temu wszystkiemu przyzwyczajamy się do znajdywania w świecie czegoś, co może nas podniecić lub uspokoić, zatrzymać naszą uwagę lub przenieść w myślach w nowe miejsce. Jednak podróż naukowa, którą odbyliśmy, dobitnie wskazuje na to, że Wszechświat nie istnieje po to, by zapewnić miejsce do życia i rozkwitu umysłu. Życie i umysł to po prostu pewne zjawiska, które się czasem wydarzają. Do czasu. Kiedyś wyobrażałem sobie, że badając Wszechświat, obierając go w przenośni i dosłownie, dowiemy się wystarczająco wiele z odpowiedzi na pytania zaczynające się od „jak", aby potem zerknąć na odpowiedzi do tych zaczynających się od „dlaczego". Tymczasem im więcej się dowiadujemy, tym bardziej wydaje się, że to zły kierunek. Oczekiwanie od Wszechświata, aby przytulił nas, jego przemijających świadomych dzikich lokatorów, jest zrozumiałe, ale to po prostu nie to, co Wszechświat robi.

Mimo to ujrzenie kontekstu naszej chwili jest uświadomieniem sobie, że ludzka egzystencja jest zdumiewająca. Odtwórzmy Wielki Wybuch, ale lekko przemieśćmy położenie tej cząstki lub zmieńmy wartość tamtego pola i praktycznie każda inna błaha różnica prowadzi do nowego kosmicznego rozwoju nieobejmującego ani ciebie, ani mnie, ani ludzkiego gatunku, ani naszej planety Ziemi, ani niczego innego, co głęboko cenimy. Gdyby superinteligencja potraktowała nowy wszechświat jako całość, jak my traktujemy powietrze lub zbiór rzuconych na stół monet, doszłaby do wniosku, że nowy wszechświat wygląda prawie tak samo jak oryginalny. Dla nas byłby on zupełnie inny. Nie byłoby żadnego „nas". Entropia zapewniła podstawową zasadę organizacji, obejmującą zmiany w wielkiej skali dzięki odwróceniu naszej uwagi od najdrobniejszych szczegółów. Jednak mimo że generalnie nie obchodzi nas, czy ten grosz to orzeł, czy reszka, czy ta jedna konkretna cząsteczka tlenu znajduje się tu, czy tam, to istnieją pewne drobne szczegóły, na których nam zależy. Nawet bardzo. Istniejemy, ponieważ nasze

szczególne układy cząsteczkowe wygrały bitwę z ogromną liczbą innych układów współzawodniczących w realizacji. Dzięki łasce przypadku, która spłynęła za pośrednictwem praw natury, jesteśmy tutaj.

Jest to fakt, który odbija się echem na każdym etapie ludzkiego i kosmicznego rozwoju. Pomyślcie o tym, co Richard Dawkins opisał jako prawie nieskończony zbiór potencjalnych ludzi, niedoszłych nosicieli prawie nieskończonego zbioru sekwencji par zasad w DNA, z których żaden nigdy się nie narodzi. Albo pomyśl o chwilach tworzących kosmiczną historię, od Wielkiego Wybuchu poprzez twoje narodziny aż po dzień dzisiejszy, wypełnioną procesami kwantowymi, których nieubłagany, probabilistyczny łańcuch w każdej chwili mógł przynieść taki, a nie inny rezultat, w wyniku czego powstałby równie rozsądny wszechświat, ale taki, który nie obejmowałby ani ciebie, ani mnie[351]. A jednak mimo tak astronomicznie wielkiej liczby możliwości, na przekór wszystkiemu, twoja i moja sekwencja par zasad, twoja kombinacja molekularna i moja teraz żyją. Jak spektakularnie jest to mało prawdopodobne. Jak ekscytująco wspaniałe.

A dar jest jeszcze większy: nasze szczególne kombinacje molekularne, nasze specyficzne układy chemiczne, biologiczne oraz neurologiczne, dają nam godne pozazdroszczenia moce, którym poświęciliśmy znaczną uwagę we wcześniejszych rozdziałach. Chociaż większość życia, cudownego w swych przejawach, jest związana z tym co teraz, to my możemy wyjść poza czas. Możemy myśleć o przeszłości, możemy wyobrazić sobie przyszłość. Możemy oglądać Wszechświat, możemy badać go za pomocą umysłu i ciała, rozumu i emocji. W naszym odludnym zakątku kosmosu wykorzystujemy kreatywność i wyobraźnię do kształtowania słów i obrazów oraz struktur i dźwięków, by wyrazić nasze tęsknoty i frustracje, nasze pomyłki i objawienia, nasze porażki i triumfy. Wykorzystaliśmy pomysłowość i wytrwałość, aby dosięgnąć granic przestrzeni zewnętrznej i wewnętrznej, określając podstawowe prawa, które rządzą tym, jak gwiazdy świecą, a światło podróżuje, jak czas upływa, a przestrzeń się rozszerza – prawa, które pozwalają

nam przyglądać się najkrótszemu momentowi tuż po powstaniu Wszechświata, a następnie przenieść wzrok na jego koniec.

Tym zapierającym dech w piersiach spostrzeżeniom towarzyszą głębokie i ustawiczne pytania. Dlaczego jest tam raczej coś niż nic? Co zainicjowało początek życia? Jak wyłoniła się świadomość? Zbadaliśmy wiele przypuszczeń, ale ostateczne odpowiedzi pozostają nieuchwytne. Być może nasze mózgi, dobrze przystosowane do przetrwania na planecie Ziemi, nie są po prostu stworzone do rozwiązywania tych tajemnic. A może, w miarę jak inteligencja będzie ewoluować, nasze zaangażowanie w rzeczywistość nabierze zupełnie innego charakteru, w wyniku czego dzisiejsze wzniosłe pytania staną się nieistotne. Podczas gdy jedno i drugie jest możliwe, fakt, że świat, taki jak obecnie go rozumiemy, utrzymuje tak ścisłą matematyczną i logiczną spójność, jak również fakt, że byliśmy w stanie rozszyfrować tak wiele z tej spójności, sugeruje mi, że nic z powyższego nie zachodzi. Nie brakuje nam inteligencji. Nie gapimy się na ścianę w jaskini platońskiej, nieświadomi radykalnie innego rodzaju prawdy, tuż poza zasięgiem, mającej moc nowego oświecenia.

Kiedy mkniemy w kierunku zimnego i jałowego kosmosu, musimy się pogodzić z tym, że nie ma żadnego wielkiego projektu. Cząsteczkom nie nadano celu. Nie ma ostatecznej odpowiedzi unoszącej się w głębi kosmosu w oczekiwaniu na odkrycie. Zamiast tego pewne specjalne zbiory cząstek mogą myśleć, czuć i zastanawiać się, a w tych subiektywnych światach mogą tworzyć cel. A więc dążąc do zgłębienia ludzkiej kondycji, powinniśmy spoglądać do wewnątrz. Szlachetnie jest tam właśnie patrzeć. Zrezygnować z gotowych odpowiedzi i zająć się budowaniem własnego znaczenia. Jest to kierunek, który prowadzi do samego centrum twórczej ekspresji i źródła naszych najbardziej donośnych narracji. Nauka jest potężnym, wykwintnym narzędziem pozwalającym na zrozumienie zewnętrznej rzeczywistości, ale w tym wyjaśnieniu, w tym rozumieniu, wszystko inne jest ludzkim gatunkiem zastanawiającym się nad sobą, starającym się zrozumieć to, czego potrzebuje, by trwać dalej, i snującym opowieść, która

rozbrzmiewa echem w ciemności, opowieść wyrzeźbioną w dźwięku i wyrytą w ciszy, opowieść, która porusza duszę.

342 Rola ewolucji w kształtowaniu etyki została omówiona w E.O. Wilson, *Socjobiology: The New Synthesis* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1975), inicjującej nowy paradygmat analizy zachowań ludzkich w ogóle, a moralności ludzkiej w szczególności: P. Kitcher, *Biology and Ethics*, w *The Oxford Handbook of Ethical Theory* (Oxford: Oxford University Press, 2006), 163–85, oraz P. Kitcher, *Between Fragile Altruism and Morality: Evolution and the Emergence of Normative Guidance*, „Evolutionary Ethics and Contemporary Biology" (2006): 159–77.

343 T. Nagel, *Mortal Questions* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979), 142–46.

344 Zob. np. J. Haidt, *The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgment*, „Psychological Review" 108, nr 4 (2001): 814–34, oraz Jonathan Haidt, *The Righteous Mind: Why Good People Are Divided by Politics and Religion* (Nowy Jork: Pantheon Books, 2012).

345 Przeł. Andrzej Sobol-Jurczykowski (przyp. red.). Jorge Luis Borges, *„The Immortal" in Labirynths: Selected Stories and Other Writings* (Nowy Jork: New Directions Paperbook, 2017), 115. Inne książki, o których mowa w tym rozdziale, to: Jonathan Swift, *Podróże Guliwera*; Karel Čapek, *The Makropulos Case, in Four Plays: R.U.R.*; *The Insect Play*; *The Makropulos Case*; *The White Plague* (Londyn: Bloomsbury, 2014).

346 Bernard Williams, *Problems of the Self* (Cambridge: Cambridge University Press, 1973).

347 Aaron Smuts, *Immortality and Significance*, „Philosophy and Literature" 35, nr 1 (2011): 134–49.

348 Samuel Scheffler, *Death and the Afterlife* (New York: Oxford University Press, 2016), 59–60.

349 Jak pisze Wolf, „Nasza wiara w kontynuację ludzkiej rasy odgrywa ogromną, w większości milczącą, rolę w sposobie, w jaki pojmujemy nasze działania i rozumiemy ich wartość". Samuel Scheffler, *The Significance of Doomsday*, *Death and the Afterlife* (Nowy Jork: Oxford University Press, 2016), 113.

350 Harry Frankfurt, *How the Afterlife Matters*, w Samuel Scheffler, *Death and the Afterlife* (New York: Oxford University Press, 2016), 136.

351 Zwolennicy Interpretacji Wielu Światów mechaniki kwantowej mogą przedstawić ten opis w innym świetle. Jeśli wszystkie możliwe wyniki wystąpią w tym czy innym świecie, to świat ten został z góry założony. Ale fakt, że samoświadome kolekcje znajdują się wśród dopuszczalnych wyników, jest nie mniej niezwykły.

Podziękowania

Jestem wdzięczny wielu osobom, które wyraziły swe niezwykle cenne opinie, gdy pisałem *Do końca czasu*. Za życzliwe przeczytanie rękopisu, niekiedy więcej niż jeden raz, oraz przedstawienie swego punktu widzenia, krytyki i sugestii, które znacznie wzbogaciły prezentację, jestem wdzięczny Raphaelowi Gunnerowi, Kenowi Vinebergowi, Tracy Day, Michaelowi Douglasowi, Saakshi Dulaniemu, Richardowi Eastherowi, Joshui Greene, Wendy Greene, Raphaelowi Kasperowi, Ericowi Lupferowi, Markusowi Pösselowi, Bobowi Shaye'owi i Doronowi Weberowi. Za uważne czytanie poszczególnych ustępów lub rozdziałów oraz reakcje na nie i/lub odpowiadanie na wątpliwości dziękuję Davidowi Albertowi, Andreasowi Albrechtowi, Barry'emu Barishowi, Michaelowi Bassettowi, Jessemu Beringowi, Brianowi Boydowi, Pascalowi Boyerowi, Vicki Carstens, Dawidowi Chalmersowi, Judith Cox, dziekanowi Eliottowi, Jeremy'emu Englandowi, Stuartowi Firesteinowi, Michaelowi Graziano, Sandrze Kaufmann, Willemu Kinney'owi, Andriejowi Lindemu, Aviemu Loebowi, Samirowi Mathurowi, Peterowi de Menocal, Brianowi Metzgerowi, Ali Mousamiemu, Philowi Nelsonowi, Maulikowi Parikhowi, Stevenowi Pinkerowi, Adamowi Riessowi, Benjaminowi Smithowi, Sheldonowi Solomonowi, Paulowi Steinhardtowi, Giulio Tononiemu, Johnowi Valleyowi i Alexowi Vilenkinowi. Dziękuję całemu zespołowi wydawnictwa Knopf, w tym redaktorce Amy Ryan, asystentowi redaktora Andrew Weberowi, projektantowi Chipowi Kiddowi, redaktorce Ricie Madrigal oraz mojemu redaktorowi

Edwardowi Kastenmeierowi, który dał wiele ważnych sugestii i wraz z moim agentem, Ericem Simonoffem, nieustannie wspierał projekt na każdym etapie rozwoju. Wreszcie chcę wyrazić serdeczną wdzięczność mojej rodzinie za niezłomną miłość i wsparcie: mojej matce, Ricie Greene; mojemu rodzeństwu, Wendy Greene, Susan Greene i Joshui Greene; moim dzieciom, Alece Day Greene i Sophii Day Greene; oraz mojej wspaniałej żonie i najdroższej przyjaciółce, Tracy Day.

Bibliografia

Aaronson Scott, *Why I Am Not an Integrated Information Theorist (or, The Unconscious Expander)*, Shtetl-Optimized, https://www.scottaaronson.com/blog/?p=1799.

Abbot P., Abe J., Alcock J. i in., *Inclusive fitness theory and eusociality*, „Nature" 2010, nr 471, s. E1–E4.

Adams Douglas. *Życie, wszechświat i cała reszta*, przeł. P. Wieczorek, Wydawnictwo Albatros Andrzej Kuryłowicz, Warszawa 2006.

Adams Fred C., Laughlin Gregory, *A dying universe: The long-term fate and evolution of astrophysical objects*, „Reviews of Modern Physics" 1997, nr 69, s. 337–372.

Adams Fred C., Laughlin Gregory, *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity*, Free Press, Nowy Jork 1999.

Albert David, *Time and Chance*, Harvard University Press, Cambridge, MA 2000.

Alberts Bruce i in., *Molecular Biology of the Cell*, wyd. 5, Garland Science, Nowy Jork 2007.

Albrecht A., Sorbo L., *Can the Universe Afford Inflation?*, „Physical Review D" 2004, nr 70, s. 063528.

Albrecht A., Steinhardt P., *Cosmology for Grand Unified Theories with Radiatively Induced Symmetry Breaking*, „Physical Review Letters" 1982, nr 48, s. 1220.

Andreassen A., Frost W., Schwartz M.D., *Scale Invariant Instantons and the Complete Lifetime of the Standard Model*, „Physical Review D" 2018, nr 97, s. 056006.

Aoyama Tatsumi, Masashi Hayakawa, Toichiro Kinoshita, Makiko Nio, *Tenth-order electron anomalous magnetic moment: Contribution of diagrams without closed lepton loops*, „Physical Review D" 2015, nr 91, s. 033006.
Ariès Philippe, *The Hour of Our Death*, przeł. H. Weaver, Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1981.
Arystoteles, *Etyka nikomachejska*, przeł. D. Gromska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
Armstrong Karen, *Krótka historia mitu*, przeł. I. Kania, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, Kraków 2005.
Arnulf Isabelle, Buda Colette, Sastre Jean-Pierre, *Michel Jouvet: An explorer of dreams and a great storyteller*, „Sleep Medicine" 2018, nr 49, s. 4–9.
Atran Scott, *In Gods We Trust: The Evolutionary Landscape of Religion*, Oxford University Press, Oksford 2002.
św. Augustyn, *Wyznania*, przeł. Z. Kubiak, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, Kraków 2018.
Auton A., Brooks L., Durbin R. i in., *A global reference for human genetic variation*, „Nature" 2015, nr 526 (7571), s. 68–74.
Axelrod Robert, *The Evolution of Cooperation*, wyd. popr., Perseus Books Group, Nowy Jork 2006.
Axelrod Robert, Hamilton William D., *The Evolution of Cooperation*, „Science" 1981, nr 211, s. 1390–96.
Baars Bernard J., *In the Theater of Consciousness*, Oxford University Press, Nowy Jork 1997.
Barrett Justin L., *Why Would Anyone Believe in God?*, AltaMira, Lanham, MD 2004.
Barrow John D., Hervik Sigbjørn, *Indefinite information processing in ever-expanding universes*, „Physics Letters B" 2003, nr 1–2 (566), s. 1–7.
Barrow John D., Tipler Frank J., *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, Oksford 1988.
Becker Ernest, *The Denial of Death*, Free Press, Nowy Jork 1973.
Bekenstein Jacob D., *Black Holes and Entropy*, „Physical Review D" 1973, nr 7, s. 2333.

Bellow Saul, wykład noblowski, 12 grudnia 1976 r., w: *Nobel Lectures, Literature 1968–1980*, red. Sture Allén, World Scientific Publishing Co., Singapur 1993.
Bennett Charles H., Landauer Rolf, *The Fundamental Physical Limits of Computation*, „Scientific American" 1985, nr 253 (1).
Bering Jesse, *The Belief Instinct*, W.W. Norton, Nowy Jork 2011.
Berwick R., Chomsky N., *Why Only Us?*, MIT Press, Cambridge, MA 2015.
Bierce Ambrose, *The Devil's Dictionary*, The Peter Pauper Press, Mount Vernon, NY 1958.
Bigham Abigail i in., *Identifying signatures of natural selection in Tibetan and Andean populations using dense genome scan data*, PLoS Genetics 6, nr 9 (9 września 2010 r.), s. e1001116.
Blackmore Susan, *The Meme Machine*, Oxford University Press, Oksford 1999.
Boddy Kimberly K., Carroll Sean M., *Can the Higgs Boson Save Us from the Menace of the Boltzmann Brains?* 2013. arXiv:1308.468.
Boddy K.K., Carroll S.M., Pollack J., *De Sitter Space Without Dynamical Quantum Fluctuations*, „Foundations of Physics" 2016, nr 46 (6), s. 702.
Boltzmann Ludwig, *On Certain Questions of the Theory of Gases*, „Nature" 1895, nr 51 (1322), s. 413–415.
Boltzmann Ludwig, *Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. E. Zermelo*, „Annalen der Physik" 1896, nr 57, s. 773–784.
Borges Jorge Luis, *Nieśmiertelny*, w: tegoż, *Alef*, przeł. Z. Chądzyńska, A. Sobol-Jurczykowski, Czytelnik, Warszawa 1972.
Born Max, *Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge*, „Zeitschrift für Physik" 1926, nr 37 (12), s. 863–867.
Bousso R., Freivogel B., *A Paradox in the Global Description of the Multiverse*, „Journal of High Energy Physics" 2007, nr 6, s. 018.
Boyd Brian, *The evolution of stories: from mimesis to language, from fact to fiction*, WIREs Cognitive Science 2018, nr 9 (1), e1444–46.

Boyd Brian, *Evolutionary Theories of Art*, w: *The Literary Animal: Evolution and the Nature of Narrative*, red. Jonathan Gottschall, David Sloan Wilson, Northwestern University Press, Evanston, IL 2005, s. 147.

Boyd Brian, *On the Origin of Stories*, Belknap Press, Cambridge, MA:2010.

Boyer Pascal, *Functional Origins of Religious Concepts: Ontological and Strategic Selection in Evolved Minds*, „Journal of the Royal Anthropological Institute" 2000, nr 6 (2), s. 195–214.

Boyer Pascal, *Religion Explained: The Evolutionary Origins of Religious Thought*, Basic Books, Nowy Jork 2007.

Bruner Jerome, *Making Stories: Law, Literature, Life*, Farrar, Straus and Giroux, Nowy Jork 2002.

Bruner Jerome, *The Narrative Construction of Reality*, „Critical Inquiry" 1991, nr 18 (1), s. 1–21.

Buss David, *Psychologia ewolucyjna*, przeł. M. Orski, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2001.

Cairns-Smith A.G., *Seven Clues to the Origin of Life*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.

Calaprice Alice (red.), *The New Quotable Einstein*, Princeton University Press, Princeton, NJ 2005.

Caldwell Robert R., Kamionkowski Marc, Weinberg Nevin M., *Phantom Energy and Cosmic Doomsday*, „Physical Review Letters" 2003, nr 91, s. 071301.

Campbell Joseph, *The Hero with a Thousand Faces* New World Library, Novato, CA 2008.

Camus Albert, *Lyrical and Critical Essays*, przeł. Ellen Conroy Kennedy, Vintage Books, Nowy Jork 1970.

Camus Albert, *Mit Syzyfa i inne eseje*, przeł. J. Guze, Muza, Warszawa 2004.

Čapek Karel, *Sprawa Makropulos: komedia w trzech aktach z przemianą*, przeł. J. Gondowicz, Teatr Wielki – Opera Narodowa, Warszawa 2013.

Carlip Steven, *Transient Observers and Variable Constants, or Repelling the Invasion of the Boltzmann's Brains*, „Journal of Cosmology and Astroparticle Physics" 2007, nr 06, s. 001.

Carnot Sadi, *Reflections on the Motive Power of Fire*, Dover Publications, Inc., Mineola, NY 1960.
Carroll Noël, *The Arts, Emotion, and Evolution*, w: *Aesthetics and the Sciences of Mind*, red. Greg Currie, Matthew Kieran, Aaron Meskin, Jon Robson, Oxford University Press, Oksford 2014.
Carroll Sean, *Nowa perspektywa: pochodzenie życia, świadomości i wszechświata*, przeł. U. i M. Seweryńscy, Prószyński i S-ka, Warszawa 2017.
Carter B., *Axisymmetric Black Hole Has Only Two Degrees of Freedom*, „Physical Review Letters" 1971, nr 26, s. 331.
Casals Pablo, *Bach Festival: Prades 1950*, cyt. za: by Paul Elie, *Reinventing Bach*, Farrar, Straus and Giroux, Nowy Jork 2012.
Cavosie A.J., Valley J.W., Wilde SA, *The Oldest Terrestrial Mineral Record: Thirty Years of Research on Hadean Zircon from Jack Hills, Western Australia*, w: *Earth's Oldest Rocks*, red. M.J. Van Kranendonk, Elsevier, Nowy Jork 2018, s. 255–278.
Ceresole A., Dall'Agata G., Giryavets A. i in., *Domain walls, near-BPS bubbles, and probabilities in the landscape*, „Physical Review D" 2006, nr 74, s. 086010.
Chalmers David J., *Facing Up to the Problem of Consciousness*, „Journal of Consciousness Studies 2" 1995, nr 3, s. 200–219.
Chalmers David J., *Świadomy umysł: w poszukiwaniu teorii fundamentalnej*, przeł. M. Miłkowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
Chandrasekhar Subrahmanyan, *The Maximum Mass of Ideal White Dwarfs*, „Astrophysical Journal" 1931, nr 74, s. 81–82.
Cheney Dorothy L., Seyfarth Robert M., *How Monkeys See the World: Inside the Mind of Another Species*, University of Chicago Press, Chicago 1992.
Ćirković Milan M., *Resource Letter: PEs-1: Physical Eschatology*, „American Journal of Physics" 2003, nr 71, s. 122.
Cloak F.T., Jr., *Cultural Microevolution*, „Research Previews" 1966, nr 13, s. 7–10.
Clottes Jean, *What Is Paleolithic Art? Cave Paintings and the Dawn of Human Creativity*, University of Chicago Press, Chicago 2016.

Coleman Sidney, *Fate of the False Vacuum*, „Physical Review D" 1977, nr 15, s. 2929; erratum, „Physical Review D" 1977, nr 16, s. 1248.
Conrad Joseph, *Murzyn z załogi „Narcyza"*, przeł. B. Zieliński, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1962.
Coqueugniot Hélène i in., *Earliest cranio-encephalic trauma from the Levantine Middle Palaeolithic: 3D reappraisal of the Qafzeh 11 skull, consequences of pediatric brain damage on individual life condition and social care*, PloS One, nr 9 (23 lipca 2014 r.), s. 7 e102822.
Crick F.H., Leslie Barnett C., Brenner S., Watts-Tobin R.J., *General nature of the genetic code for proteins*, „Nature" 1961, nr 192, s. 1227–1232.
Cronin H., *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today*, Cambridge University Press, Cambridge 1991.
Crooks G.E., *Entropy production fluctuation theorem and the nonequilibrium work relation for free energy differences*, „Physical Review E" 1999, nr 60, s. 2721.
Damrosch David, *The Buried Book: The Loss and Rediscovery of the Great Epic of Gilgamesh*, Henry Holt and Company, Nowy Jork 2007.
Darwin Karol, *O pochodzeniu człowieka i doborze w odniesieniu do płci*, przeł. L. Masłowski, Hachette Polska, Warszawa 2011.
Darwin Karol, *O wyrazie uczuć u człowieka i zwierząt*, przeł. Z. Majlert, K. Zaćwilichowska, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1988.
Darwin Karol, list do Alfreda Russela Wallace'a, 27 marca 1869 r., https://www.darwinproject.ac.uk/letter/?docId=letters/DCP-LETT-6684.xml;query=child;brand=default.
Darwin Karol, *O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego, czyli o utrzymaniu się doskonalszych ras w walce o byt*, przeł. S. Dickstein, J. Nusbaum, De Agostini Polska, Warszawa 2011.
Davies Stephen, *The Artful Species: Aesthetics, Art, and Evolution*, Oxford University Press, Oksford 2012.

Dawkins Richard, *Bóg urojony*, przeł. P. Szwajcer, Wydawnictwo CiS, Warszawa 2013.
Dawkins Richard, *Samolubny gen*, przeł. M. Skoneczny, Prószyński i S-ka, Warszawa 2012.
De Caro M., Macarthur D., *Naturalism in Question*, Harvard University Press, Cambridge, MA 2004.
Deamer David, *Assembling Life: How Can Life Begin on Earth and Other Habitable Planets?*, Oxford University Press, Oksford 2018.
Dehaene Stanislas, *Consciousness and the Brain*, Penguin Books, Nowy Jork 2014.
Dehaene Stanislas, Changeux Jean-Pierre, *Experimental and Theoretical Approaches to Conscious Processing*, „Neuron" 2011, nr 70 (2), s. 200–227.
Dennett Daniel, *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon*, Penguin Books, Nowy Jork 2006.
Dennett Daniel, *Świadomość*, przeł. E. Stokłosa, Copernicus Center Press, Kraków 2016.
Dennett Daniel, *Elbow Room* MIT Press, Cambridge, MA 1984.
Dennett Daniel, *Freedom Evolves*, Penguin Books, Nowy Jork 2003.
Dennett Daniel, *The Intentional Stance*, MIT Press, Cambridge, MA 1989.
Deutsch David, *The Beginning of Infinity: Explanations That Transform the World*, Viking, Nowy Jork 2011.
Deutscher Guy, *The Unfolding of Language: An Evolutionary Tour of Mankind's Greatest Invention*, Henry Holt and Company, Nowy Jork 2005.
Dickinson Emily, *The Poems of Emily Dickinson*, red. R.W. Franklin, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA 1999.
Dissanayake Ellen, *Art and Intimacy: How the Arts Began*, University of Washington Press, Seattle 2000.
Distin Kate, *The Selfish Meme: A Critical Reassessment*, Cambridge University Press, Cambridge 2005.
Doniger Wendy (przeł.), *The Rig Veda*, Penguin Classics, Nowy Jork 2005.

Dor Daniel, *The Instruction of Imagination*, Oxford University Press, Oksford 2015.
Dostojewski Fiodor, *Zbrodnia i kara*, przeł. C. Jastrzębiec-Kozłowski, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2009.
Dunbar R.I.M., *Gossip in Evolutionary Perspective*, „Review of General Psychology" 2004, nr 8 (2), s. 100–110.
Dunbar R.I.M., *Pchły, plotki a ewolucja języka: dlaczego człowiek zaczął mówić?*, przeł. T. Pańkowski, Copernicus Center Press, Kraków 2017.
Dunbar R.I.M., Duncan N.D.C., Marriott A., *Human Conversational Behavior*, „Human Nature" 1997, nr 8 (3), s. 231–246.
Dupré John, *The Miracle of Monism*, w: *Naturalism in Question*, red. Mario de Caro, David Macarthur, Harvard University Press, Cambridge, MA 2004.
Durant Will, *The Life of Greece*, t. 2 *The Story of Civilization*, Simon & Schuster, Nowy Jork 2011. Kindle, 8181–82.
Dutton Denis, *The Art Instinct*, Bloomsbury Press, Nowy Jork 2010.
Dyson Freeman, *Time without end: Physics and biology in an open universe*, „Reviews of Modern Physics" 1979, nr 51, s. 447–460.
Dyson, L., Kleban M., Susskind L., *Disturbing Implications of a Cosmological Constant*, „Journal of High Energy Physics" 2002, nr 0210, s. 011.
Eddington A., *The End of the World: From the Standpoint of Mathematical Physics*, „Nature" 1931, nr 127 (3203), s. 447–453.
Einstein Albert, *Zapiski autobiograficzne*, przeł. J. Bieroń, Znak, Kraków 1996.
Elgendi Mohamed i in., *Subliminal Priming-State of the Art and Future Perspectives*, „Behavioral Sciences" (Bazylea, Szwajcaria) nr 8 (6) (30 maja 2018 r.), 54.
Ellenberger Henri, *The Discovery of the Unconscious*, Basic Books, Nowy Jork 1970.
Else Jon (reż.), *The Day After Trinity*, KETH, Houston 1981.
Emerson Ralph Waldo, *The Conduct of Life*, Houghton Mifflin Company, Boston–Nowy Jork 1922.

Emler N., *The Truth About Gossip*, „Social Psychology Section Newsletter" 1992, nr 27, s. 23–37.
England J.L., *Statistical physics of self-replication*, „Journal of Chemical Physics" 2013, nr 139, s. 121923.
Epicurus, *The Essential Epicurus*, przeł. Eugene O'Connor, Prometheus Books, Amherst, NY 1993.
Falk Dean, *Finding Our Tongues: Mothers, Infants and the Origins of Language*, Basic Books, Nowy Jork 2009.
Falk Dean, *Prelinguistic evolution in early hominins: Whence motherese?*, „Behavioral and Brain Sciences" 2004, nr 27, s. 491–541.
Fisher R.A., *The Genetical Theory of Natural Selection*, Clarendon Press, Oksford 1930.
Fisher Simon E., Vargha-Khadem Faraneh, Watkins Kate E., Monaco Anthony P., Pembrey Marcus E., *Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder*, „Nature Genetics" 1998, nr 18, s. 168–170.
Fowler R.H. *On Dense Matter*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" 1926, nr 87 (2), s. 114–122.
Freese K., Kinney W., *The ultimate fate of life in an accelerating universe*, „Physics Letters B" 2003, nr 558 (1–2), s. 1–8.
Friedmann Alexander, *On the Curvature of Space*, przeł. Brian Doyle, „Zeitschrift für Physik" 1922, nr 10, s. 377–386.
Frijda N., Manstead A.S.R., Bem S., *The influence of emotions on belief*, w: *Emotions and Beliefs: How Feelings Influence Thoughts (Studies in Emotion and Social Interaction)*, red. N. Frijda, A. Manstead, S. Bem, Cambridge University Press, Cambridge 2000, s. 1–9.
Frijda N., Mesquita B., *Beliefs through emotions*, w: *Emotions and Beliefs: How Feelings Influence Thoughts (Studies in Emotion and Social Interaction)*, red. N. Frijda, A. Manstead, S. Bem, Cambridge University Press, Cambridge 2000, s. 45–77.
Fu Wenqing, O'Connor Timothy D., Goo Jun i in., *Analysis of 6,515 exomes reveals the recent origin of most human protein-coding variants*, „Nature" 2013, nr 493, s. 216–220.

Garriga Jaume, Vilenkin Alexander, *Many Worlds in One*, „Physical Review D" 2001, nr 64 (4), s. 043511.
Garriga J., Mukhanov V.F., Olum K.D., Vilenkin A., *Eternal Inflation, Black Holes, and the Future of Civilizations*, „International Journal of Theoretical Physics" 2000, nr 39 (7), s. 1887–1900.
Gilgamesz: epos babiloński i asyryjski, przeł. R. Stiller, Wydawnictwo Vis-à-vis Etiuda, Kraków 2015.
Georgi Howard, Glashow Sheldon, *Unity of All Elementary-Particle Forces*, „Physical Review Letters" 1974, nr 32 (8), s. 438.
Gottschall Jonathan, *The Storytelling Animal*, Mariner Books, Houghton Mifflin Harcourt, Boston–Nowy Jork 2013.
Gould Stephen J., *Conversations About the End of Time*, Fromm International, Nowy Jork 1999.
Gould Stephen J., *The spice of life*, „Leader to Leader" 2000, nr 15, s. 14–19.
Gould Stephen J., *The Richness of Life: The Essential Stephen Jay Gould*, W.W. Norton, Nowy Jork 2006.
Gould S. J., Lewontin R.C., *The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme*, „Proceedings of the Royal Society B" nr 205 (1161) (21 września 1979 r.), s. 581–598.
Graziano M., *Consciousness and the Social Brain*, Oxford University Press, Nowy Jork 2013.
Greene Brian, *Piękno Wszechświata*, przeł. E.L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001.
Greene Brian, *Struktura kosmosu*, przeł. E.L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005.
Greene Brian, *Ukryta rzeczywistość*, przeł. T. Krzysztoń, Prószyński i S-ka, Warszawa 2012.
Greene Ellen, *Sappho 58: Philosophical Reflections on Death and Aging*, w: *The New Sappho on Old Age: Textual and Philosophical Issues*, red. Ellen Greene, Marilyn B. Skinner (Hellenic Studies Series 38), Center for Hellenic Studies, Washington, DC 2009, https://chs.harvard.edu/CHS/article/display/6036.11-ellen-

greene-sappho-58-philosophical-reflections-on-death-and-aging#n.1.
Greene Ellen (red.), *Reading Sappho: Contemporary Approaches*, University of California Press, Berkeley 1996.
Guenther Mathias Georg, *Tricksters and Trancers: Bushman Religion and Society*, Indiana University Press, Bloomington, IN 1999.
Guth Alan H., *Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems*, „Physical Review D" 1981, nr 23, s. 347.
Guth Alan H., *Wszechświat inflacyjny: w poszukiwaniu nowej teorii kosmosu*, przeł. E.L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000.
Guthrie Stewart, *Faces in the Clouds: A New Theory of Religion*, Oxford University Press, Nowy Jork 1993.
Haidt Jonathan, *The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgment*, „Psychological Review" 2001, nr 108 (4), s. 814–834.
Haidt Jonathan, *Prawy umysł*, przeł. A. Nowak-Młynikowska, Wydawnictwo Smak Słowa, Sopot 2014.
Haldane J.B.S., *The Causes of Evolution*, Longmans, Green & Co., Londyn 1932.
Halligan Peter, Marshall John, *Blindsight and insight in visuo-spatial neglect*, „Nature" 1988, nr 336 (6201), s. 766–767.
Hameroff S., Penrose R., *Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory*, „Physics of Life Reviews" 2014, nr 11, s. 39–78.
Hamilton W.D., *The Genetical Evolution of Social Behaviour*, „Journal of Theoretical Biology" 1964, nr 7 (1), s. 1–16.
Harburg Yip, *E.Y. Harburg, Lecture at UCLA on Lyric Writing, February 3, 1977*, transkrypcja, s. 5–7, taśma 7–3-10.
Harburg Yip, *Yip at the 92nd Street YM-YWHA, December 13, 1970*, transkrypcja #1–10–3, s. 3, taśmy 7–2-10 i 7–2-20.
Hawking S.W., *Particle Creation by Black Holes*, „Communications in Mathematical Physics" 1975, nr 43, s. 199–220.
Hawking Stephen, Mlodinow Leonard, *Wielki projekt*, przeł. J. Włodarczyk, Wydawnictwo Albatros, Warszawa 2019.

Hawks John, Wang Eric T., Cochran Gregory M. i in., *Recent acceleration of human adaptive evolution*, „Proceedings of the National Academy of Sciences" 2007, nr 104 (52), s. 20753–20758.
Heisenberg Werner, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*, Penguin Books, Londyn 1958.
Hirshfield Jane, *Nine Gates: Entering the Mind of Poetry*, Harper Perennial, Nowy Jork 1998.
Hogan Patrick Colm, *The Mind and Its Stories*, Cambridge University Press, Cambridge 2003.
Hrdy Sarah, *Mothers and Others: The Evolutionary Origins of Mutual Understanding*, Belknap Press, Cambridge, MA 2009.
Hulse R.A., Taylor J.H., *Discovery of a pulsar in a binary system*, „Astrophysical Journal" 1975, nr 195, s. L51.
Ijjas Anna, Steinhardt Paul, *A New Kind of Cyclic Universe* (2019), - arXiv:1904.0822[gr-qc].
Islam Jamal N., *Possible Ultimate Fate of the Universe*, „Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society", 1977, nr 18, s. 3–8.
Israel W., *Event Horizons in Static Electrovac Space-Times*, „Communications in Mathematical Physics" 1968, nr 8, s. 245.
Israel W., *Event Horizons in Static Vacuum Space-Times*, „Physical Review" 1967, nr 164, s. 1776.
Jackson Frank, *Epiphenomenal Qualia*, „Philosophical Quarterly" 1982, nr 32, s. 127–136.
Jackson Frank, *Postscript on Qualia*, w: *Mind, Method, and Conditionals: Selected Essays*, Routledge, Londyn 1998, s. 76–79.
James William, *The Varieties of Religious Experience: A Study in Human Nature*, Longmans, Green, and Co., Nowy Jork 1905.
Jarzynski C., *Nonequilibrium equality for free energy differences*, „Physical Review Letters" 1997, nr 78, s. 2690–2693.
Jaspers Karl, *The Origin and Goal of History*, Routledge, Abingdon, UK 2010.
Jeong Choongwon, Di Rienzo Anna, *Adaptations to local environments in modern human populations*, „Current Opinion in Genetics & Development" 2014, nr 29, s. 1–8.

Jones Barbara E., *The mysteries of sleep and waking unveiled by Michel Jouvet*, „Sleep Medicine" 2018, nr 49, s. 14–19.
Joordens Josephine C.A. i in.. *Homo erectus at Trinil on Java used shells for tool production and engraving*, „Nature" 2015, nr 518, s. 228–231.
Jørgensen Timmi G., Church Ross P., *Stellar escapers from M67 can reach solar-like Galactic orbits*, arxiv.org: arXiv:1905.09586.
Joyce G. F., Szostak J.W., *Protocells and RNA Self-Replication*, „Cold Spring Harbor Perspectives in Biology" 2018, nr 10 (9).
Jung Carl, *The Soul and Death*, w: *Complete Works of C. G. Jung*, red. Gerald Adler, R.F.C. Hull, Princeton University Press, Princeton 1983.
Kachman Tal, Owen Jeremy A., and England Jeremy L., *Self-Organized Resonance During Search of a Diverse Chemical Space*, „Physical Review Letters" 2017, nr 119 (3), s. 038001–1.
Kafka Franz, *The Blue Octavo Notebooks*, przeł. Ernst Kaiser, Eithne Wilkens, red. Max Brod, Exact Change, Cambridge, MA 1991.
Keller Helen, list do New York Symphony Orchestra, 2 lutego 1924 r. Digital archives of American Foundation for the Blind, filename HK01–07_B114_F08_015_002.tif.
Kennedy J. Gerald, *Poe, Death, and the Life of Writing*, Yale University Press, New Haven 1987.
Kierkegaard Søren. *The Concept of Dread*, przeł., wstęp i przypisy Walter Lowrie, Princeton University Press, Princeton 1957.
Kitcher P., *Between Fragile Altruism and Morality: Evolution and the Emergence of Normative Guidance*, „Evolutionary Ethics and Contemporary Biology" 2006, s. 159–177.
Kitcher P., *Biology and Ethics*, w: *The Oxford Handbook of Ethical Theory*, Oxford University Press, Oksford 2006.
Klinkhamer F.R., Manton N.S., *A saddle-point solution in the Weinberg-Salam theory*, „Physical Review D" 1984, nr 30, s. 2212.
Koch Christof, *Consciousness: Confessions of a Romantic Reductionist*, MIT Press, Cambridge, MA 2012.
Kragh Helge, *Naming the Big Bang*, „Historical Studies in the Natural Sciences" 2014, nr 44 (1), s. 3–36.

Krause Johannes, Lalueza-Fox Carles, Orlando Ludovic i in., *The Derived FOXP2 Variant of Modern Humans Was Shared with Neandertals*, „Current Biology" 2007, nr 17, s. 1908–1912.
Krauss Lawrence M., Starkman Glenn D., *Life, the Universe, and Nothing: Life and Death in an Ever-Expanding Universe*, „Astrophysical Journal" 2000, nr 531, s. 22–30.
Krutch Joseph Wood, *Art, Magic, and Eternity*, „Virginia Quarterly Review" 1932, nr 8 (4).
Lai C.S.L. i in., *A novel forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder*, „Nature" 2001, nr 413, s. 519–523.
Landon H.C. Robbins, *Beethoven: A Documentary Study*. Macmillan Publishing Co., Inc., Nowy Jork 1970.
Laurent John, *A Note on the Origin of 'Memes'/'Mnemes'*, „Journal of Memetics" 1999, nr 3, s. 14–19.
Lemaître Georges, *Recontres avec Einstein*, „Revue des questions scientifiques" 1958, nr 129, s. 129–132.
Leonard Scott, McClure Michael, *Myth and Knowing*, McGraw-Hill Higher Education, Nowy Jork 2004.
Lewis David, *Papers in Metaphysics and Epistemology*, t. 2, Cambridge University Press, Cambridge 1999.
Lewis David, *What Experience Teaches*, „Proceedings of the Russellian Society" 1988, nr 13, s. 29–57.
Lewis S.M., Cratsley C.K., *Flash signal evolution, mate choice, and predation in fireflies*, „Annual Review of Entomology" 2008, nr 53, s. 293–321.
Lewis-Williams David, *The Mind in the Cave: Consciousness and the Origins of Art.*, Thames & Hudson, Nowy Jork 2002.
Linde A., *A new inflationary universe scenario: A possible solution of the horizon, flatness, homogeneity, isotropy and primordial monopole problems*, „Physics Letters B" 1982, nr 108, s. 389.
Linde A., *Sinks in the Landscape, Boltzmann Brains, and the Cosmological Constant Problem*, „Journal of Cosmology and Astroparticle Physics" 2007, nr 0701, s. 022.
Loeb Abraham, *Cosmology with hypervelocity stars*, „Journal of Cosmology and Astroparticle Physics" 2011, nr 04, s. 023.

Loewi Otto, *An Autobiographical Sketch*, „Perspectives in Biology and Medicine" 1960, nr 4 (1), s. 3–25.
Louie Kenway, Wilson Matthew A., *Temporally Structured Replay of Awake Hippocampal Ensemble Activity during Rapid Eye Movement Sleep*, „Neuron" 2001, nr 29, s. 145–156.
Mackay Alan Lindsay, *The Harvest of a Quiet Eye: A Selection of Scientific Quotations*, Institute of Physics, Bristol 1977.
Maddox Brenda, *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA*, Harper Perennial, Nowy Jork 2003.
Marce Anthony J., *Conscious and Unconscious Perception: Experiments on Visual Masking and Word Recognition*, „Cognitive Psychology" 1983, nr 15, s. 197–237.
Martin W., Russell M.J., *On the origin of biochemistry at an alkaline hydrothermal vent*, „Philosophical Transactions of the Royal Society B" 2007, nr 367, s. 1887–1925.
Matthaei J. Heinrich, Jones Oliver W., Martin Robert G., Nirenberg Marshall W., *Characteristics and Composition of RNA Coding Units*, „Proceedings of the National Academy of Sciences" 1962, nr 48 (4), s. 666–677.
Melville Herman, *Moby Dick*, przeł. B. Zieliński, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 2018.
Mendez Fernando L. i in., *The Divergence of Neandertal and Modern Human Y Chromosomes*, „American Journal of Human Genetics" 2016, nr 98 (4), s. 728–734.
Miller Geoffrey, *Umysł w zalotach: jak wybory seksualne kształtowały naturę człowieka*, przeł. M. Koraszewska, Dom Wydawniczy Rebis, Poznań 2014.
Mitchell P., *Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemi-osmotic type of mechanism*, „Nature" 1961, nr 191, s. 144–148.
Morrison Toni, wykład noblowski, 7 grudnia 1993 r., https://www.nobelprize.org/prizes/literature/1993/morrison/lecture/.
Nabokov Vladimir, *Speak, Memory: An Autobiography Revisited*, Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1999.

Naccache L., Dehaene S., *The Priming Method: Imaging Unconscious Repetition Priming Reveals an Abstract Representation of Number in the Parietal Lobes*, „Cerebral Cortex" 2001, nr 11 (10), s. 966–974.
Naccache L., Dehaene S., *Unconscious Semantic Priming Extends to Novel Unseen Stimuli*, „Cognition" 2001, nr 80 (3), s. 215–229.
Nagel Thomas, *Mortal Questions*, Cambridge University Press, Cambridge 1979.
Nagel Thomas, *What Is It Like to Be a Bat?*, „Philosophical Review" 1974, nr 83 (4), s. 435–450.
Nelson Philip, *Biological Physics: Energy, Information, Life*, W.H. Freeman and Co., Nowy Jork 2014.
Nemirow Laurence, *Physicalism and the cognitive role of acquaintance*, w: *Mind and Cognition*, red. W. Lycan, Blackwell, Oksford 1990, s. 490–499.
Nemirow Laurence, *Review of Nagel's Mortal Questions*, „Philosophical Review" 1980, nr 89, s. 473–477.
Newton Isaac, list do Henry'ego Oldenburga, 6 lutego 1671 r., http://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00003.
Nietzsche Friedrich, *Zmierzch bożyszcz, czyli jak filozofuje się młotem*, przeł. G. Sowiński, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2013.
Norenzayan A., and I. G. Hansen I.G., *Belief in supernatural agents in the face of death*, „Personality and Social Psychology Bulletin" 2006, nr 32, s. 174–187.
Nowak M.A., Tarnita C.E., Wilson E.O., *The evolution of eusociality*, „Nature" 2010, nr 466 (7310), s. 1057–1062.
Nozick Robert, *Philosophical Explanations*, Belknap Press, Cambridge, MA 1983.
Nozick Robert, *Philosophy and the Meaning of Life*, w: *Life, Death, and Meaning: Key Philosophical Readings on the Big Questions*, red. David Benatar, The Rowman & Littlefield Publishing Group, Lanham, MD 2010, s. 65–92.
Nussbaumer Harry, *Einstein's conversion from his static to an expanding universe*, „European Physics Journal – History" 2014,

nr 39, s. 37–62.
Oates Joyce Carol, *Literature as Pleasure, Pleasure as Literature*, https://www.narrativemagazine.com/issues/stories-week-2015–2016/story-week/literature-pleasure-pleasure-literature-joyce-carol-oates.
Oatley K., *Why fiction may be twice as true as fact*, „Review of General Psychology" 1999, nr 3, s. 101–117.
Oizumi Masafumi, Albantakis Larissa, Giulio Tononi Giulio, *From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness: Integrated Information Theory 3.0.*, PLoS Computational Biology 10, nr 5 (maj 2014).
Page Don N., *Is our universe decaying at an astronomical rate?*, „Physics Letters B" 2008, nr 669, s. 197–200.
Page Don N., *The Lifetime of the Universe*, „Journal of the Korean Physical Society" 2006, nr 49, s. 711–714.
Page Don N., *Particle emission rates from a black hole: Massless particles from an uncharged, nonrotating hole*, „Physical Review D" 1976, nr 13 (2), s. 198–206.
Page Tim (red.), *The Glenn Gould Reader*, Vintage, Nowy Jork 1984.
Parker Eric, Cleaves Henderson J., Dworkin Jason P. i in., *Primordial synthesis of amines and amino acids in a 1958 Miller H2S-rich spark discharge experiment*, „Proceedings of the National Academy of Sciences" 2011, nr 108 (14), s. 5526–5531.
Perlmutter Saul i in., *Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae*, „Astrophysical Journal" 1999, nr 517 (2), s. 565.
Perunov Nikolay, Marsland Robert A., England Jeremy L., *Statistical Physics of Adaptation*, „Physical Review X" (czerwiec 2016), s. 021036–1.
Pichardo Bárbara, Moreno Edmundo, Allen Christine i in., *The Sun was not born in M67*, „The Astronomical Journal" 2012, nr 143 (3), s. 73–84.
Pinker Steven, *Jak działa umysł*, przeł. M. Koraszewska, Książka i Wiedza, Warszawa 2002.
Pinker Steven, *Language as an adaptation to the cognitive niche*, w: *Language Evolution: States of the Art*, red. S. Kirby, M.

Christiansen, Oxford University Press, Nowy Jork 2003.
Pinker Steven, *The Language Instinct*, W. Morrow and Co., Nowy Jork 1994.
Pinker S., Bloom P., *Natural language and natural selection*, „Behavioral and Brain Sciences" 1990, nr 13 (4), s. 707–784.
Plath Sylvia, *Wiersze*, przeł. T. Truszkowska, Oficyna Literacka 1992.
Prebble John, Weber Bruce, *Wandering in the Gardens of the Mind: Peter Mitchell and the Making of Glynn*, Oxford University Press, Oksford 2003.
Premack David, Woodruff Guy, *Does the chimpanzee have a theory of mind?*, „Cognition and Consciousness in Nonhuman Species" (wyd. specjalne „Behavioral and Brain Sciences") 1978, nr 1 (4), s. 515–526.
Proust Marcel, *W poszukiwaniu straconego czasu*, t. 3: *Strona Guermantes*, przeł. T. Żeleński (Boy), Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1992.
Prum Richard, *Ewolucja piękna: jak darwinowska teoria wyboru partnera kształtuje świat zwierząt i nas samych*, przeł. K. Skoneczny, Copernicus Center Press, Kraków 2019.
Pyszczynski Tom, Solomon Sheldon, Greenberg Jeff, *Thirty Years of Terror Management Theory*, „Advances in Experimental Social Psychology" 2015, nr 52, s. 1–70.
Rank Otto, *Art and Artist: Creative Urge and Personality Development*, przeł. Charles Francis Atkinson, Alfred A. Knopf, Nowy Jork 1932.
Rank Otto, *Psychology and the Soul*, przeł. William D. Turner, University of Pennsylvania Press, Filadelfia 1950.
Rees M.J., *The collapse of the universe: An eschatological study*, „Observatory" 1969, nr 89, s. 193–198.
Reinach Salomon, *Cults, Myths and Religions*, przeł. Elizabeth Frost, David Nutt, Londyn 1912.
Revonsuo Antti, Tuominen Jarno, Valli Katja, *The Avatars in the Machine – Dreaming as a Simulation of Social Reality*, Open MIND 2015, s. 1–28.
Rodd F. Helen, Hughes Kimberly A., Grether Gregory F., Baril Colette T., *A possible non-sexual origin of mate preference: Are male*

guppies mimicking fruit?, „Proceedings of the Royal Society B" 2002, nr 269, s. 475–481.
Roney James R., *Likeable but Unlikely, a Review of the Mating Mind by Geoffrey Miller*, „Psycoloquy" 2002, nr 13 (10), art. 5.
Rosenblatt Abram, Greenberg Jeff, Solomon Sheldon i in., *Evidence for Terror Management Theory I: The Effects of Mortality Salience on Reactions to Those Who Violate or Uphold Cultural Values*, „Journal of Personality and Social Psychology" 1989, nr 57, s. 681–690.
Rowland Peter, *Bowerbirds*, CSIRO Publishing, Collingwood, Australia 2008.
Russell Bertrand, *Dlaczego nie jestem chrześcijaninem?*, przeł. A. Kurlandzka, Książka i Wiedza, Warszawa 1959.
Russell Bertrand, *Human Knowledge*, Routledge, Nowy Jork 2009.
Ryan Michael, *A Taste for the Beautiful*, Princeton University Press, Princeton 2018.
Sackmann I.-J., Boothroyd A.I., Kraemer K.E., *Our Sun. III. Present and Future*, „Astrophysical Journal" 1993, nr 418, s. 457.
Sartre Jean-Paul, *Mur*, przeł. J. Lisowski, Czytelnik, Warszawa 1984.
Scarpelli Serena, Bartolacci Chiara, D'Atri Aurora i in., *The Functional Role of Dreaming in Emotional Processes*, „Frontiers in Psychology" 2019, nr 10, s. 459.
Scheffler Samuel, *Death and the Afterlife*, Oxford University Press, Nowy Jork 2016.
Schmidt B.P. i in., *The High-Z Supernova Search: Measuring Cosmic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type IA Supernovae*, „Astrophysical Journal" 1998, nr 507, s. 46.
Schrödinger Erwin, *Czym jest życie? Fizyczne aspekty żywej komórki*, przeł. S. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
Schroder Klaus-Peter, Smith Robert C., *Distant future of the Sun and Earth revisited*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" 2008, nr 386 (1), s. 155–163.
Schvaneveldt R.W., Meyer D.E., Becker C.A., Lexical ambiguity, semantic context, and visual word recognition, „Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance" 1976, nr 2, s. 243–256.

Schwartz Joel S., *Darwin, Wallace, and the Descent of Man*, „Journal of the History of Biology" 1984, nr 17 (2), s. 271–289.
Shakespeare William, *Miarka za miarkę*, przeł. L. Ulrich, Avia Artis, Warszawa 2018.
Shaw George Bernard, *Back to Methuselah*, CreateSpace Independent Publishing Platform, Scotts Valley, CA 2012.
Sheff David, *Keith Haring, An Intimate Conversation*, „Rolling Stone", nr 589 (sierpień 1989), s. 47.
Shermer Michael, *The Believing Brain: From Ghosts and Gods to Politics and Conspiracies*, St. Martin's Griffin, Nowy Jork 2011.
Silver David, Hubert Thomas, Julian Schrittwieser Julian i in., *A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play*, „Science" 2018, nr 362, s. 1140–1144.
Smuts Aaron, *Immortality and Significance*, „Philosophy and Literature" 2011, nr 35 (1), s. 134–149.
Solomon Sheldon, Greenberg Jeff, Pyszczynski Tom, *Tales from the Crypt: On the Role of Death in Life*, „Zygon" 1998, nr 33 (1), s. 9–43.
Solomon Sheldon, Greenberg Jeff, Pyszczynski Tom, *The Worm at the Core: On the Role of Death in Life*, Random House Publishing Group, Nowy Jork 2015.
Sosis R., *Religion and intra-group cooperation: Preliminary results of a comparative analysis of utopian communities*, „Cross-Cultural Research" 2000, nr 34, s. 70–87.
Sosis R., Alcorta C., *Signaling, solidarity, and the sacred: The evolution of religious behawior*, „Evolutionary Anthropology" 2003, nr 12, s. 264–274.
Spengler Oswald, *Zmierzch Zachodu: zarys morfologii historii uniwersalnej*, przeł. J. Marzęcki, Wydawnictwo KR, Warszawa 2001.
Sperber Dan, *Explaining Culture: A Naturalistic Approach*, Blackwell Publishers Ltd., Oksford 1996.
Sperber Dan, *Rethinking Symbolism*, Cambridge University Press, Cambridge 1975.
Stapledon Olaf, *Star Maker*, Dover Publications, Mineola, NY 2008.

Steinhardt Paul J., Turok Neil, *The cyclic model simplified*, „New Astronomy Reviews" 2005, nr 49, s. 43–57.
Sterelny Kim, *The Evolved Apprentice: How Evolution Made Humans Unique*, MIT Press, Cambridge, MA 2012.
Stroud Barry, *The Charm of Naturalism*, „Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association" 1996, nr 70 (2).
Stulp G., Barrett L., Tropf F.C., Mills M., *Does natural selection favour taller stature among the tallest people on earth?*, „Proceedings of the Royal Society B" 282: 20150211.
Susskind Leonard, *Bitwa o czarne dziury: moja walka ze Stephenem Hawkingiem o uczynienie świata przyjaznym mechanice kwantowej*, przeł. U. i M. Seweryńscy, Prószyński i S-ka, Warszawa 2011.
Swift Jonathan, *Podróże Guliwera*, przeł. M. Słomczyński, Wydawnictwo Zielona Sowa, Warszawa 2018.
Szent-Györgyi Albert, *Biology and Pathology of Water*, „Perspectives in Biology and Medicine" 1971, nr 14 (2), s. 239–249.
't Hooft G., *Computation of the quantum effects due to a four-dimensional pseudoparticle*, „Physical Review D" 1976, nr 14, s. 3432.
Thoreau Henry David, *The Journal 1837–1861*, New York Review Books Classics, Nowy Jork 2009.
„Time" 41, nr 14 (5 kwietnia 1943 r.), s. 42.
Tolman Richard C., *On the problem of the entropy of the universe as a whole*, „Physical Review" 1931, nr 37, s. 1639–1660.
Tolman Richard C., *On the theoretical requirements for a periodic behavior of the universe*, „Physical Review" 1931, nr 38, s. 1758–1571.
Tomasello Michael, *Universal Grammar Is Dead*, „Behavioral and Brain Sciences" 2009, nr 32 (5), s. 470–471.
Tononi Giulio, *Phi: A Voyage from the Brain to the Soul*, Pantheon, Nowy Jork 2012.
Tononi Giulio, *The Psychological Foundations of Culture*, w: *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, red. Jerome H. Barkow, Leda Cosmides, John Tooby, Oxford University Press, Oksford 1992, s. 19–136.

Tooby John, Cosmides Leda, *Does Beauty Build Adapted Minds? Toward an Evolutionary Theory of Aesthetics, Fiction and the Arts*, „SubStance" 2001, nr 30 (1/2), s. 6–27.
Tremlin Todd, *Minds and Gods: The Cognitive Foundations of Religion*, Oxford University Press, Oksford 2006.
Trinkaus Erik, Buzhilova Alexandra, Mednikova Maria, Dobrovolskaya Maria, *The People of Sunghir: Burials, Bodies and Behavior in the Earlier Upper Paleolithic*, Oxford University Press, Nowy Jork 2014.
Trivers Robert, *Parental Investment and Sexual Selection*, w: *Sexual Selection and the Descent of Man: The Darwinian Pivot*, red. Bernard G. Campbell, Aldine Publishing Company, Chicago 1972.
Tylor Edward Burnett, *Primitive Culture*, t. 2, John Murray, Londyn 1873; Dover Reprint Edition, 2016, s. 24.
Ucko Peter J., Rosenfeld Andrée, *Paleolithic Cave Art.*, McGraw-Hill, Nowy Jork 1967, s. 117–123, 165–174.
Upaniszady, spolszczył A. Pełkowski, Wydawnictwo Armoryka, Sandomierz 2017.
Valley John W., Peck William H., King Elizabeth M., Wilde Simon A., *A Cool Early Earth*, „Geology" 2002, nr 30, s. 351–354.
Vilenkin A., *Predictions from Quantum Cosmology*, „Physical Review Letters" 1995, nr 74, s. 846.
Vilenkin Alex, *Many Worlds in One*, Hill and Wang, Nowy Jork 2006.
Wagoner R.V., *Test for the existence of gravitational radiation*, „Astrophysical Journal" 1975, nr 196, s. L63.
Wallace Alfred Russel, *Natural Selection and Tropical Nature*, Macmillan and Co., Londyn 1891.
Wallace Alfred Russel, *Sir Charles Lyell on geological climates and the origin of species*, „Quarterly Review" 1869, nr 126, s. 359–394.
Watson J.D., Crick F.H.C., *Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid*, „Nature" 1953, nr 171, s. 737–738.
Webb Taylor, Graziano M., *The attention schema theory: A mechanistic account of subjective awareness*, „Frontiers in Psychology" 2015, nr 6, s. 500.

Wertheimer Max, *Productive Thinking*, wyd. rozszerzone, Harper and Brothers, Nowy Jork 1959.
Wheeler John Archibald, Zurek Wojciech, *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, Princeton 1983.
Whitehead Alfred North, *Science and the Modern World*, The Free Press, Nowy Jork 1953.
Wigner Eugene, *Symmetries and Reflections*, MIT Press, Cambridge, MA 1970.
Wilkins Maurice, *The Third Man of the Double Helix*, Oxford University Press, Oksford 2003.
Williams Bernard, *Problems of the Self*, Cambridge University Press, Cambridge 1973.
Williams Tennessee, *Kotka na gorącym blaszanym dachu*, przeł. J. Poniedziałek, w: *Tramwaj zwany pożądaniem i inne dramaty*, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, Kraków 2012.
Wilson David Sloan, *Darwin's Cathedral: Evolution, Religion and the Nature of Society*, University of Chicago Press, Chicago 2002.
Wilson David Sloan, *Does Altruism Exist? Culture, Genes and the Welfare of Others*, Yale University Press, New Haven 2015.
Wilson E.O., *Socjobiologia: wydanie popularnonaukowe*, przeł. M. Siemiński, Zysk i S-ka, Poznań 2000.
Wilson K.G., *Critical phenomena in 3.99 dimensions*, „Physica" 1974, nr 73, s. 119.
Wittgenstein Ludwig, *Tractatus logico-philosophicus*, przeł. B. Wolniewicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
Witzel Michael, *The Origins of the World's Mythologies*, Oxford University Press, Nowy Jork 2012.
Woosley S.E., Heger A., Weaver T.A., *The evolution and explosion of massive stars*, „Reviews of Modern Physics" 2002, nr 74, s. 1015–1071.
Wrangha Richard, *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*, Basic Books, Nowy Jork 2009.
Yeats William Butler, *Poezje wybrane*, przeł. S. Barańczak i in., Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1987.
Yourcenar Marguerite, *Opowieści wschodnie*, przeł. K. Dolatowska, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1988.

Zahavi Amotz, *Mate selection – a selection for a handicap*, „Journal of Theoretical Biology" 1975, nr 53 (1), s. 205–214.
Zuckerman M., *Sensation seeking: A comparative approach to a human trait*, „Behavioral and Brain Sciences" 1984, nr 7, s. 413–471.
Zunshine Lisa, *Why We Read Fiction: Theory of Mind and the Novel*, Ohio State University Press, Columbus 2006.

Spis treści

Przedmowa
Rozdział 1. Powab wieczności
- Początki, końce i to, co poza nimi
- Opowieści niemal o wszystkim
- Informacja, świadomość i wieczność
- Rozważania nad przyszłością

Rozdział 2. Język czasu
- Przeszłość, przyszłość i zmiana
- Maszyny parowe
- Podejście statystyczne
- Od tego do tamtego
- Entropia: Pierwsze podejście
- Entropia: poważna sprawa
- Prawa termodynamiki
- Energia i entropia
- Boltzmann i Wielki Wybuch
- Ciepło i entropia
- Ciepło i druga zasada termodynamiki
- Dwuetapowość entropii
- Jesteś maszyną parową

Rozdział 3. Początek Wszechświata i entropia
- Od stworzenia do struktury
- Wielki Wybuch w zarysie
- Odpychanie grawitacyjne
- Pierwotna poświata
- Wielki Wybuch i druga zasada termodynamiki
- Pochodzenie materii i narodziny gwiazd
- Przeszkody na drodze do nieporządku
- Grawitacja, porządek i druga zasada termodynamiki
- Rodzi się gwiazda
- Synteza jądrowa, porządek i druga zasada termodynamiki

Rozdział 4. Informacja i witalność

- Od struktury do życia
- Opowieści zagnieżdżone
- Pochodzenie pierwiastków
- Pochodzenie Układu Słonecznego
- Młoda Ziemia
- Życie, fizyka kwantowa i woda
- Jedność życia
- Jedność informacji o życiu
- Jedność energii życia
- Biologia i baterie
- Podsumowanie
- Ewolucja przed ewolucją
- W stronę źródeł życia
- Fizyka informacji
- Termodynamika i życie
- Ogólna teoria życia?

Rozdział 5. Cząstki i świadomość
- Od życia do umysłu
- Świadomość i gawędzenie
- W cieniach
- Trudny problem
- Trochę o Marii
- Opowieść o dwóch opowieściach
- Teorie wszystkiego
- Umysł integruje informacje
- Umysł tworzy model umysłu
- Świadomość i fizyka kwantowa
- Wolna wola
- Skały, ludzie i wolność
- Istotność, uczenie się i indywidualność

Rozdział 6. Język i opowieść
- Od umysłu do wyobraźni
- Pierwsze słowa
- Dlaczego zaczęliśmy mówić
- Opowiadanie historii i intuicja
- Opowiadanie historii i inne umysły

- Mity
- Rozdział 7. Umysł i wiara
  - Od wyobraźni do świętości
  - Wyobrażenia innych światów
  - Ewolucyjne źródła religii
  - Poświęcenie dla grupy
  - Adaptacja indywidualna i religia
  - Pokrótce o korzeniach religii
  - Pragnienie wiary
  - Wiara, ufność i wartości
- Rozdział 8. Instynkt i kreatywność
  - Od świętości do wzniosłości
  - Aby tworzyć
  - Seks i sernik
  - Wyobraźnia i przetrwanie
  - Sztuka i prawda
  - Nieśmiertelność poetycka
- Rozdział 9. Czas trwania i nietrwałość
  - Od wzniosłości do myśli ostatecznej
  - Ewolucja, Entropia i przyszłość
  - Imperium czasu
  - Czarne Słońce
  - Wielkie Rozdarcie
  - Urwiska przestrzeni
  - Zmierzch gwiazd
  - Zmierzchu porządku astronomicznego
  - Fale grawitacyjne i ostatnia duża część przestrzeni
  - Los materii złożonej
  - Przyszłość myślenia
  - Spowalnianie myślenia
  - Ostatnia myśl o myśleniu
- Rozdział 10. Zmierzch czasu
  - Kwanty, prawdopodobieństwo i wieczność
  - Rozpad czarnych dziur
  - Rozpad ekstremalnych czarnych dziur
  - Koniec czasu

Rozpad pustki
Mózgi Boltzmannowskie
Czy koniec jest blisko?
Myśl i Wieloświat
Rozdział 11. Szlachetność bycia
Umysł, materia i znaczenie
Porządek i znaczenie
Śmiertelność i znaczenie
Potomkowie
Znaczenie